



Ângela Maria
Valente Rito

**Estudo das correntes de água de uma indústria
para reutilização**



Ângela Maria

Valente Rito

Estudo das correntes de água de uma indústria para reutilização

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Maria Helena Nadais, Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

"A sabedoria consiste em compreender que o tempo dedicado ao trabalho nunca é perdido."

Ralph Emerson

Agradecimentos

A experiência adquirida durante este estágio curricular possibilitou o contacto directo com a realidade industrial adquirindo desta forma competências, que certamente servirão de base a uma vida profissional futura. Gostaria de agradecer a todos os responsáveis da CUF- Químicos Industriais por possibilitarem a existência deste trabalho. Gostaria de agradecer em particular ao Engenheiro Paulo Araújo pela forma como me recebeu e pelos esclarecimentos prestados.

Um muito obrigado também a todos os funcionários que contribuíram para este trabalho.

Gostaria de agradecer à grande ser humana, Engenheira Ivana Silva, por me ter acompanhado ao longo de todo o estágio na CUF-QI, pela ajuda e discussões, pela amizade e pelos muitos bons momentos passados.

Um obrigado à Professora Helena Nadais, pela orientação e por sempre acreditar neste trabalho.

Um muito obrigado à Joana, Bruna, Juliana, Elsa e Elsa Sanches e todos outros amigos por me terem acompanhado, não só nesta fase mas também ao longo dos anos passados na Universidade de Aveiro.

Quero deixar um beijo muito especial ao Daniel por estar a meu lado ao longo deste último ano e sempre me ter incentivado a acreditar em mim própria.

Finalmente, quero mandar um beijo muito grato aos meus avós, pais e irmão que sempre me apoiaram e tinham sempre uma palavra de esperança para me oferecer.

A todos um bem-haja.

Palavras-chave

Água, Indústria, Reutilização

Resumo

A escassez de água está entre os principais problemas que a sociedade terá de enfrentar no século XXI. Este facto tem feito com que haja de dia para dia uma maior procura de fontes alternativas deste bem precioso, que é água. A indústria tem grande interesse neste assunto, uma vez que devido às actividades desenvolvidas, representa um sector com grande uso de água e ao optar por fontes alternativas de água, garante assim o seu desenvolvimento sustentável.

É neste âmbito que surge este trabalho. Nele foram desenvolvidas actividades para efectuar um diagnóstico ao uso da água, feito na CUF-QI, de forma a se poder balancear esse mesmo uso, visando a oportunidade de futuramente ser utilizado um projecto de reutilização de água, baseado na metodologia *Water Pinch*.

Ao longo do trabalho, foram efectuadas leituras documentais, levantamento de dados em campo, leituras e registos de contadores, medições de caudais em campo. Foram ainda identificados efluentes específicos os quais foram sujeitos a amostragem e análise laboratorial.

As informações obtidas serviram para seleccionar um conjunto de processos ou operações que poderão vir ser utilizados no projecto de reutilização de água, para a construção de dados inexistentes das correntes de águas envolvidas nos processos e para a construção de uma base de dados com informações quantitativas e qualitativas das correntes de águas industriais, para posterior utilização no projecto de reutilização de água baseado na tecnologia *Water Pinch*.

Os resultados deste trabalho possibilitaram a caracterização individualizada das correntes de água e de água residual consideradas relevantes para o estudo.

A avaliação final dos resultados obtidos também permitiu, no sector PCA, a sugestão de medidas de utilização de efluentes de um processo em outro processo subsequente. Com estas medidas será possível utilizar cerca de 74 m³ do efluente gerado e portanto poupar 74 m³/dia de água bruta.

Keywords

Water, Industry, Reuse

Abstract

Water scarcity is among the main problems society will face in the twenty-first century. This has meant that every day there is a greater demand for alternative sources of this precious welfare, which is water. The industry has great interest in this matter, since due to the activities, represents a sector with high water use and opting for alternative sources of water, thus guarantee their sustainable development.

It is in this context that this work comes. Activities were developed in it to make a diagnosis on water use, made in the CUF-QI in order to be able to balance this same usage, creating opportunities to be used in the future a water reuse project, based on the methodology Water Pinch.

Throughout the study, documentary readings were made data collection in the field, readings and records of meters, flow measurements in the field. Were also identified specific effluents which were subject to sampling and laboratory analysis.

The information obtained served to select a set of processes or operations that may be used in water reuse project for the construction of missing data streams of water currents involved in the process and to build a database with quantitative and quality information of the currents of industrial water for later use in the design of water reuse based on the Water Pinch technology.

The results of this work made possible the study of water currents and wastewater separately.

The final evaluation of the results also allowed the PAD sector, to suggest measures for the use of effluent. With these measures it will be possible to use some 74 m³ per day and thus save 74 m³/day of water.

Índice

Nomenclatura	4
1 Introdução	5
1.1 Importância do tema	5
1.2 Objectivos	9
1.3 Estrutura da dissertação	10
2 A problemática da água	11
2.1 Disponibilidade da água	11
2.2 Principais usos da água	12
2.3 Poupança, reutilização e reciclagem da água	13
3 A água na indústria	14
3.1 Necessidade de água	16
3.2 Oferta de água	16
3.2.1 Rede pública	17
3.2.2 Águas subterrâneas	17
3.2.3 Águas de superfície	18
3.2.4 Águas pluviais	18
3.2.5 Águas reaproveitadas	19
4 CUF-Químicos Industriais	23
5 Metodologia	25
5.1 Análise Documental	25
5.2 Caracterização das instalações	26
5.3 Necessidade e oferta de água	26
5.4 Análises laboratoriais de efluentes	27
6 Resultados e discussão	29
6.1 Descrição dos Processos da Cuf-qi	29
6.1.1 Produção Cloro- Álcis	29
6.1.1.1 Electrólise de NaCl	31
6.1.1.2 Tratamento da Salmoura	31
6.1.1.3 Fábrica de HCl	31
6.1.1.4 Unidade de electrólise de HCl	31
6.1.1.5 Unidade de Liquefacção de Cloro	32
6.1.1.6 Fábrica de Hipoclorito de Sódio	32
6.1.1.7 Concentração de Soda Cáustica	33
6.1.2 Produção de Anilina e Derivados - PAD	33

6.1.2.1	Fábrica de Ácido Nítrico	34
6.1.2.2	Fábrica de Nitrobenzeno (MNB)	34
6.1.2.3	Fábrica de Anilina e Recuperação de Ciclohexilamina	35
6.1.2.4	Fábrica de Ácido Sulfanílico.....	35
6.1.3	Rede de distribuição de água na CUF-QI.....	35
6.1.3.1	Sistema de captação da água bruta	35
6.1.3.2	Sistema de tratamento da água bruta	35
6.1.3.3	Sistema de distribuição de água fresca	36
6.1.4	Processo de desmineralização.....	37
6.1.4.1	Água desmineralizada Cloro- Alcalis:.....	37
6.1.4.2	Água desmineralizada- Anilina e Derivados	38
6.1.5	Sistema de tratamento de efluentes: Produção de Cloro-Álcalis (PCA).....	39
6.1.5.1	ETAR do Sector Cloro-Álcalis	39
6.1.6	Sistema de tratamento de efluentes: Produção de Anilina e Derivados (PAD)	40
6.1.6.1	ETARI do Sector de Anilina e Derivados:	41
6.1.7	Utilidades.....	42
6.1.7.1	Torres de refrigeração - Sector PCA	42
6.1.7.2	Geradores de Vapor	44
6.2	Diagramas dos fluxos de água.....	46
6.2.1	Diagrama dos fluxos de água do Sector PCA	46
6.2.2	Diagramas dos fluxos de água do Sector PAD	51
6.3	Quantidade e qualidade: resultados e discussão	54
6.3.1	Resultados e discussão - Sector PCA	54
6.3.2	Resultados e discussão – Sector PAD	78
7	Propostas de Medidas de Reutilização da Água	88
7.1	Base de dados das correntes de água do Sector PCA	88
7.1.1	Reutilização do efluente da lavagem dos Filtros Multimédia.....	91
7.1.2	Reutilização do efluente da lavagem dos Filtros de Carvão	92
7.1.3	Reutilização do efluente da Liquefacção do Cloro.....	93
7.2	Base de dados das correntes de água do Sector PAD	93
8	Conclusões	97
	Referências bibliográficas	100
	ANEXOS	105

Índice de Figuras

Figura 1.1- Distribuição de água no planeta.....	5
Figura 1.2 – Exemplo de um diagrama obtido através da tecnologia <i>Water Pinch</i>	7
Figura 2.1- Disponibilidade da água	11
Figura 2.2- Usos competitivos de água por grau de desenvolvimento dos países	12
Figura 3.1- Reutilização de água na indústria - sem reutilização e sem reciclagem	19
Figura 3.2 - Reutilização de água na indústria – com tratamento prévio à reutilização	19
Figura 3.3 - Reutilização de água na indústria – com reutilização.....	19
Figura 3.4 – Reutilização de água na indústria - com tratamento prévio à reciclagem	20
Figura 6.1- Esquema simplificado do sector PCA.....	30
Figura 6.2- Esquema simplificado da produção do sector PAD	33
Figura 6.3- Esquema da captação de água e sua distribuição.....	37
Figura 6.4 – Representação da ETAR do sector PCA	40
Figura 6.5- Esquema da ETARI do sector PAD.....	42
Figura 6.6 - Exemplo do funcionamento de um sistema em circuitos semi abertos, com recirculação de água	43
Figura 6.7- Esquema representativo das entradas de água bruta e saídas de efluente no Sector PCA.	47
Figura 6.8- Esquema representativo da entrada de água desmineralizada nos processos e a saída de efluente	48
Figura 6.9 – Esquema representativo da entrada e saída de água bruta no sector PAD.....	52
Figura 6.10- Esquema representativo das entradas de água desmineralizada nos processos PAD.....	53
Figura 6.11- Imagem do desmineralizador A2S1	56
Figura 6.12- Imagem do desmineralizador NRC8o	57
Figura 6.13- Imagem do Filtro Multimédia	57
Figura 6.14- Imagem do filtro de carvão	58
Figura 6.15- Imagem da saída do efluente da lavagem do filtro multimédia	58
Figura 6.16- Imagem da saída do efluente da lavagem do filtro de carvão	61
Figura 6.17- Imagem da saída do efluente da regeneração do desmineralizador NRC8o	63
Figura 6.18 – Imagem da saída do efluente da regeneração do desmineralizador A2S1	63
Figura 6.19- Imagem de uma das torres de refrigeração do sector PCA.....	65
Figura 6.20- Imagem dos chuveiros de água para arrefecimento de equipamentos nas instalações de Liquefacção do Cloro.....	70
Figura 6.21- Imagem do contador instalado na Liquefacção do Cloro.....	70
Figura 6.22 – Imagem da saída de efluente no Processamento de H ₂	73
Figura 6.23- Imagem da saída de efluente na instalação de absorção de HCl	74
Figura 6.24- Imagem da lavagem de recipientes de cloro.....	76
Figura 6.25 – Imagem da saída do efluente da lavagem dos recipientes de Cloro.....	77

Índice de Tabelas

Tabela 5-1- Parâmetros analisados nos efluentes e a correspondente bibliografia ou os métodos utilizados.....	28
Tabela 6-1- Características da água bruta e da água desmineralizada	56
Tabela 6-2- Consumo de água nas lavagens dos filtros multimédia	59
Tabela 6-3- Resultados das análises laboratoriais ao efluente das lavagens dos filtros multimédia	59
Tabela 6-4 - Consumo de água nas lavagens do F 17.06	60
Tabela 6-5 - Consumo de água nas lavagens do F17.07.....	60
Tabela 6-6 - Consumo de água nas lavagens do F17.08	60
Tabela 6-7 – Resultados das análises laboratoriais ao efluente da lavagem dos filtros de carvão.....	61
Tabela 6-8- Consumo de água na regeneração do desmineralizador A2S1	62
Tabela 6-9 - Consumo de água na regeneração do desmineralizador A2S2	62
Tabela 6-10 - Consumo de água na regeneração do desmineralizador NRC8o.....	62
Tabela 6-11 – Resultado das análises laboratoriais ao efluente da regeneração das colunas de desmineralização tipo A2S.....	64
Tabela 6-12- Resultado das análises laboratoriais ao efluente da regeneração das colunas de desmineralização tipo NRC8o	64
Tabela 6-13 – Consumo de água na Torre de Refrigeração 1.....	65
Tabela 6-14 - Consumo de água na Torre de Refrigeração 2	65
Tabela 6-15 - Consumo de água na Torre de Refrigeração 3	65
Tabela 6-16- Consumo de água na Torre de Refrigeração 5.....	66
Tabela 6-17 – Resultado da análise ao efluente das torres de refrigeração 1,2,3,4,5	66
Tabela 6-18 - Caudais da água de reposição e da água das purgas dos refrigerantes do sector PCA	69
Tabela 6-19- Apresentação dos valores do volume de água consumido na Liquefacção de Cloro	70
Tabela 6-20 – Resultados das análises laboratoriais ao efluente da Liquefacção do Cloro	72
Tabela 6-21 – Tempo médio de duração da saída do efluente do Processamento de H ₂	73
Tabela 6-22- Resultado das análises laboratoriais ao efluente do Processamento de H ₂	73
Tabela 6-23 - Tempo médio de duração da saída do efluente da Absorção de HCl	74
Tabela 6-24 – Resultado das análises laboratoriais ao efluente da Absorção de HCl	75
Tabela 6-25 – Consumo de água gasta na lavagem de tambores e garrafas de Cloro	76
Tabela 6-26- Resultados das análises laboratoriais ao efluente da lavagem dos bidons	77
Tabela 6-27 – Consumo de água na regeneração das colunas de desmineralização no sector PAD	80
Tabela 6-28 – Caudais de água de alimentação, água evaporada, água arrastada e água da purga da Torre de HNO ₃ ..	80
Tabela 6-29- Caudais de água de alimentação, água evaporada, água arrastada e água da purga da Torre de Anilina..	81
Tabela 6-30- Caudal de água de reposição da Torre do MNB.....	81
Tabela 6-31 - Resultados da análise ao efluente das Torres de Refrigeração do sector PAD	82
Tabela 6-32 – Volume de efluente gerado no Piso da Anilina.....	83
Tabela 6-33 – Resultados da análise ao efluente do Piso da Anilina	83
Tabela 6-34 - Volume de efluente gerado no Piso do Ácido Sulfanílico	83
Tabela 6-35 - Resultados da análise ao efluente do Piso do Ácido Sulfanílico.....	84
Tabela 6-36 - Volume de efluente gerado na Fábrica de MNB	84

Tabela 6-37 - Resultados da análise ao efluente da Fábrica de MNB	85
Tabela 6-38- Consumo de água da caldeira Babcock 1	85
Tabela 6-39- Consumo de água da caldeira Babcock 2	86
Tabela 6-40 - Consumo de água da caldeira Termec	86
Tabela 6-41 – Resultado da análise à água da caldeira Termec	86
Tabela 6-42- Consumo de água da caldeira da ECE	87
Tabela 6-43- Resultado da análise à água da caldeira ECE	87
Tabela 7-1- Características quantitativas da água de alimentação dos processos do sector PCA	89
Tabela 7-2- Características qualitativas da água de alimentação dos processos do sector PCA	89
Tabela 7-3- Características quantitativas e qualitativas dos efluentes dos processos do sector PCA	90
Tabela 7-4- Características qualitativas do efluente das torres de refrigeração do sector PCA	91
Tabela 7-5- Limite recomendado para os parâmetros presentes na água de reposição das torres de refrigeração	92
Tabela 7-6 - Características quantitativas da água de alimentação dos processos do sector PAD	94
Tabela 7-7 - Características da água desgasada	94
Tabela 7-8- Características quantitativas e qualitativas dos efluentes dos processos do sector PAD	95
Tabela 7-9- Características qualitativas do efluente das purgas do sector PAD	96
Tabela 7-10- Características qualitativas do efluente das torres de refrigeração do sector PAD	96

Lista de abreviaturas

APRH – Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos

AS- Ácido Sulfanílico

CUF-QI- CUF- Químicos Industriais

CEFIC - Conselho Europeu para a Indústria Química

DL- Decreto – Lei

IDAD - Instituto de Ambiente e Desenvolvimento

INAG- Instituto da Água

LA- Licença Ambiental

MNB- Mononitrobenzeno

PAD- Produção de Anilina e Derivados

PCA- Produção Cloro- Álcalis

PNEUA- Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

TH- Taxa Hidrometrica

NTU- Unidades Nefelomeétricas de Turbidez

MDI - Difenilmetano Diisocianato

Nomenclatura

Ba- Bário

Ca - Cálcio

Cl - Cloro

Fe- Ferro

H - Hidrogénio

K- Potássio

Mg- Magnésio

N- Azoto

Na- Sódio

$\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S}$ – Ácido Sulfanílico

$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ - Anilina

$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ – Nitrobenzeno

H_2O - Água

HCl- Ácido Clorídrico

HNO_3 – Ácido Nítrico

H_2SO_4 – Ácido Sulfúrico

NaCl – Cloreto de Sódio

NH_3 – Amoníaco

NO_3^- - Nitrato

NO – Monóxido de azoto

NO_2 – Dióxido de azoto

SiO_2 – Sílica

SO_4^{2-} – Sulfato

1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

A água é a fonte de toda a vida e está actualmente no centro de uma crise sem precedentes que tem por principais factores o aumento da população, a poluição, a insuficiente gestão dos recursos hídricos, alterações climáticas, a inércia política e a falta de uma tomada de consciência das populações (Comissão Nacional da Unesco).

Uma vez que a água é essencial à vida de todos, o futuro da humanidade está comprometido devido à ameaça da escassez de água. Embora $\frac{3}{4}$ da superfície do globo terrestre esteja coberto por água, menos de 1% se encontra disponível para captação, tal como se pode observar na Figura 1.1 (Midões e Fernandes, 2001).

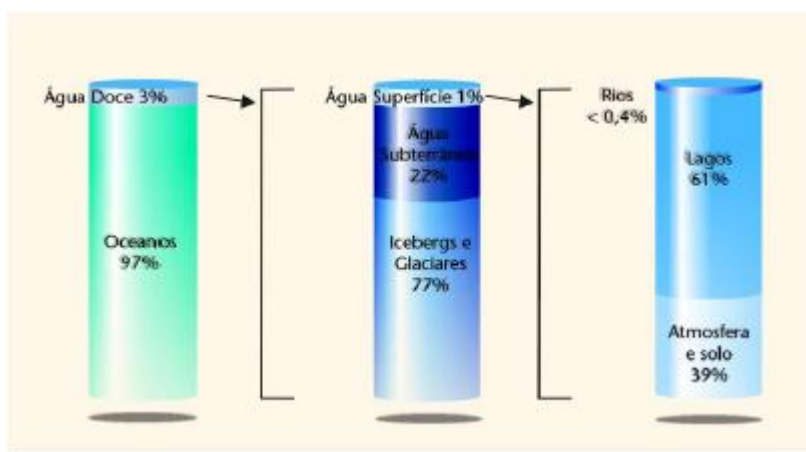


Figura 1.1- Distribuição de água no planeta

Fonte: <http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/488/1/27629.pdf>

A escassez de água está entre os principais problemas que a sociedade terá de enfrentar no século XXI. No último século, a utilização da água tem vindo a aumentar duas vezes mais depressa do que o aumento de população, e embora não haja escassez global de água, existe um número elevado de regiões que sofrem de escassez crónica de água. A falta de água não é considerada apenas um fenómeno natural, mas também um fenómeno proveniente da acção humana. Existe água doce suficiente no planeta para seis biliões de pessoas, mas está distribuída de forma desigual e muita dela é desperdiçada, poluída e gerida de forma insustentável (UN, 2010).

A Europa relativamente a outras regiões do mundo, possui recursos hídricos em abundância e a água tem sido considerada como um bem público inesgotável. Contudo, esta opinião tende a ser mudada devido ao crescente stress hídrico, provocado não só pela sua escassez mas também pela deterioração da qualidade da água (Bixio *et al.*, 2006).

Para a maior parte das actividades económicas, nomeadamente da agricultura e da indústria, a água é um recurso obrigatório e possui grande influência na qualidade de vida das populações, principalmente nas áreas de abastecimento de água e de drenagem e tratamento

de águas residuais. No entanto, esta procura de água não é verdadeiramente aproveitada, uma vez que há uma parcela importante associada à ineficiência de uso e a perdas, relativamente à água que é efectivamente captada (PNUD, 2006).

Sendo a água um factor essencial para o desenvolvimento sócio-económico, é fundamental que seja considerada como um recurso estratégico e estruturante, e portanto a eficiência do seu uso deve ser garantida. Logo, é importante salientar a necessidade de haver um uso eficiente da água, ou seja, é necessário proceder à optimização da utilização deste recurso, sem por em causa a eficácia da sua utilização no que diz respeito, por exemplo, às necessidades vitais, qualidade de vida e ao desenvolvimento sócio-económico. Tomando esta atitude, será possível atingir os mesmos objectivos mas usando menos água, trazendo assim alguns benefícios indirectos tais como a redução da poluição dos meios hídricos e do consumo de energia (Baptista, 2001).

A indústria, por exemplo, é um sector com grande uso de água.

As medidas aplicadas para o uso eficiente de água na indústria devem ter um carácter geral, porém é necessária a existência de medidas específicas para casos particulares. Quando se trata de casos particulares é necessário o desenvolvimento de uma estratégia específica para cada unidade industrial que se traduza no uso racional e eficiente da água. Esta estratégia tem que incidir não só na adequação de procedimentos para a redução de consumos, mas também na utilização de equipamentos mais eficientes, na adopção de soluções de tratamento adequado das águas residuais geradas, a fim de possibilitar a sua recirculação e/ou reutilização, e também na possível utilização da água das chuvas. Após a implementação de medidas que incidam na redução de desperdícios e perdas de água, assim como o uso de tecnologias que assentam na redução do consumo de água, é possível recorrer a outras fontes alternativas, tais como o uso da água residual. O uso de uma fonte alternativa, baseada no uso de água residual, vai ao encontro do facto de ser possível utilizar em alguns processos água de qualidade inferior à da fonte convencional, desde que os objectivos sejam cumpridos do nível técnico e ambiental (Baptista, 2001).

Uma forma para solucionar problemas relacionados com o alto consumo de água na indústria através de reutilização em cascata é utilizar ferramentas como Integração de Processos (IP), onde é possível aplicar a técnica gráfica *Water Pinch* ou técnicas com programação matemática para otimizar o circuito de água (YOO *et al.*, 2007).

A Integração de Processos é uma abordagem eficaz que permite que haja um aumento da rentabilidade das indústrias através das reduções do consumo de energia, água e matérias-primas, da emissão de gases com efeito de estufa (GEE) e de geração de resíduos (Natural Resources Canada, 2003). Ou seja, a integração refere-se à utilização eficiente de todos os recursos disponíveis no processo.

Uma técnica gráfica inserida no âmbito da IP é a metodologia *Water Pinch*. *Water Pinch* é uma ferramenta de optimização do uso da água em processos industriais. Esta técnica possibilita determinar o consumo mínimo de água de abastecimento e de geração de efluentes através da reutilização de água e, ainda, identificar os processos que precisam ser mais eficientes. Esta técnica pode ser utilizada tanto na concepção de um projecto industrial como em projectos já existentes que necessitam de optimização (YOO *et al.*, 2007).

A tecnologia é capaz de analisar até mesmo os mais complexos sistemas de água, e tem sido aplicada com sucesso em vários sectores industriais (YOO et al., 2007).

O ponto mais importante na aplicação da metodologia *Water Pinch* é reduzir o consumo de água doce, diminuir o caudal de efluente gerado e tentar com que o efluente total gerado num processo seja todo reutilizado (Mann e Liu, 1999).

Este método pode ser aplicado na área de minimização do consumo de água, considerando que contaminantes são transferidos de uma corrente do processo para uma corrente de água. Para a aplicação desta técnica é necessário identificar quais os principais contaminantes que interferem no processo industrial e escolher um destes contaminantes como parâmetro limitante para a água poder ser reutilizada. Depois da escolha desse contaminante é necessário identificar as suas concentrações limites na entrada e na saída de cada processo, considerando que o efluente de um processo pode ser utilizado em outro processo (Natural Resources Canada, 2003).

Dhole *et al.* (1996), desenvolveram um método gráfico em que um diagrama é construído representando caudal de água vs. concentração do contaminante em duas curvas compostas..

Na Figura 1.2 é possível visualizar um exemplo deste tipo de diagrama, considerando apenas um contaminante.

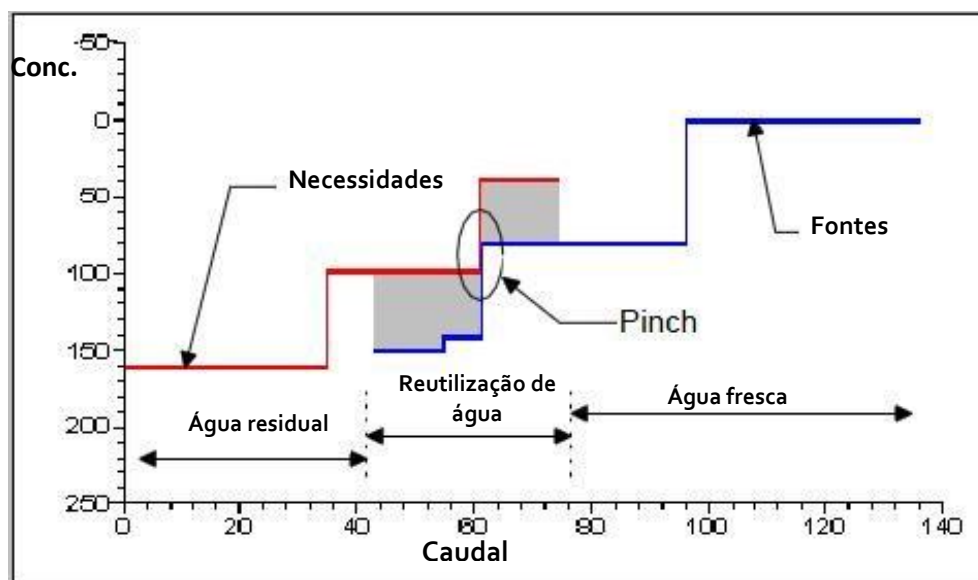


Figura 1.2 – Exemplo de um diagrama obtido através da tecnologia *Water Pinch*
 Figura adaptada de Linhoff March International, 1999

O caudal da água (quantidade) é apresentado no eixo horizontal e a concentração do contaminante presente na água (qualidade) no eixo vertical.

A curva denominada *Necessidades* representa as necessidades de água no processo e a curva *Fontes* corresponde precisamente às fontes de água para o mesmo processo.

A sobreposição horizontal das curvas denominadas *Necessidades* e *Fontes* corresponde à zona de reutilização da água. A sobreposição das curvas é limitada pelo ponto *Pinch*, que é onde as curvas se tocam. A parte lateral direita corresponde ao mínimo consumo de água fresca e a parte lateral esquerda corresponde à mínima descarga de efluentes.

Ao aumentar a reutilização da água (aumento da zona cinzenta), automaticamente haverá um consumo ainda menor de água fresca e uma redução na geração de efluentes.

A partir da análise do diagrama de *Water Pinch*, é possível determinar uma rede de água com as principais operações dos processos e apresentado onde a água é utilizada, onde é gerado efluente e onde pode ser reutilizada água nessas mesmas operações (Dhole *et al.*, 1996)

Como foi dito, existe uma outra metodologia para a reutilização de águas residuais industriais que é baseada em programação matemática.

Existem várias abordagens de optimização numérica, que vai desde a simulação de processos com modelos matemáticos simples até sofisticados métodos de programação matemática. O propósito do procedimento (por exemplo, minimizar a emissão de efluentes ou aumentar o potencial económico do processo) é representado pela chamada função objectivo. O seu valor é maximizado ou minimizado através de um processo de optimização que deve satisfazer restrições de igualdade, representadas, por exemplo, por equações de balanço material e de energia, equações impostas para o processo e restrições termodinâmicas. Há também restrições de desigualdade que podem ser de natureza ambiental (concentração de alguns contaminantes deve ser menor que um certo nível), técnica (temperatura, pressão e/ou caudal não devem ultrapassar um determinado valor) e termodinâmica (Queiroz, 2005).

Quando se pretende elaborar um projecto baseado em *Water Pinch* tem que se ter em consideração vários factores, tais como reconhecer os principais utilizadores de água e as suas necessidades de água do ponto de vista quantitativo e qualitativo, identificar os principais produtores de efluentes e ter conhecimento dos caudais e composições dos principais efluentes produzidos (Strauss, 2006).

No entanto, antes de ser aplicada qualquer metodologia que conduza à reutilização das águas residuais, é necessária a recolha de dados relativos às correntes de águas industriais com potencialidade de reutilização. Estes dados são de ordem quantitativa e qualitativa, ou seja, caudal e composição das correntes de água envolvidas. Os referidos dados podem ser obtidos através da consulta de documentos, levantamento de informações no campo e simulações.

Sendo actualmente o uso eficiente da água um assunto de extrema importância, existem empresas que buscam a optimização do uso de água.

A CUF-Químicos Industriais é uma fábrica de produtos químicos que planeia elaborar um projecto de reutilização de água baseado na metodologia *Water Pinch*.

A CUF-QI é uma empresa industrial química que lidera a Área dos Químicos Industriais do Grupo CUF, a holding química do Grupo José de Mello (CUF-QI, 2006).

A CUF-QI está sediada e tem instalações fabris no Complexo Químico de Estarreja onde se dedica à produção de produtos químicos orgânicos e inorgânicos e como tal envolve nos seus processos de fabrico quantidades muito elevadas de água.

Hoje em dia, todas as grandes empresas procuram estar em melhoria contínua e um dos seus desafios é a implementação de medidas de gestão e conservação de água, o que pode ser considerada uma estratégia fundamental para a sustentabilidade das empresas.

A importância da água, o conhecimento da ameaça de escassez e a necessidade de as empresas optimizarem o uso de água, traz não só benefícios económicos e ambientais, mas também a boa imagem das empresas.

Com base nestes propósitos foi feita uma pesquisa numa instalação industrial, destinada a construir uma base de dados com valores relativos a caudais e composições das correntes de

água industriais, de forma a serem posteriormente usados num projecto, com vista à reutilização de águas residuais, baseado na metodologia *Water Pinch*.

1.2 OBJECTIVOS

Sabendo que a água é um recurso ambiental com muito valor e que se encontra limitado, é fundamental a aplicação de alternativas ao uso convencional, tais como as técnicas de reutilização. O objectivo principal deste trabalho é a construção do conjunto de dados quantitativos e qualitativos das correntes de águas industriais, para posterior utilização em um projecto de reutilização de água usando a metodologia *Water Pinch*. A pesquisa foi feita numa indústria química local, CUF-QI, que perspectiva a elaboração de um projecto de reutilização de água processual, necessitando para isso validar as informações das correntes de água do conjunto de processos actualmente em operação.

Antes de aplicar um projecto de reutilização de água, é necessário recolher e validar dados que são de ordem quantitativa e qualitativa, ou seja, caudal e composição das correntes de água envolvidas.

Os referidos dados podem ser obtidos através da análise de documentos relativos à indústria, histórico de medições, programas de análise e medições junto aos processos em operação. Contudo, à escala real, qualquer alteração na rotina operativa pode influenciar no comportamento desses dados. Apesar de serem fundamentais são desconhecidas algumas informações relativas ao caudal e composição, que podem assegurar a representatividade dos dados utilizados para a implementação do referido projecto de reutilização. O presente trabalho visa também colmatar esta lacuna.

De forma a conseguir atingir o objectivo principal já referido, é necessário atingir alguns objectivos específicos, tais como:

- Identificação das correntes de água e de água residual do sistema produtivo;
- Compilação dos dados quantitativos e qualitativos referentes às correntes de água e água residual;
- Construção de dados inexistentes através da recolha de amostras das correntes de águas envolvidas nos processos;
- Cálculo de balanços mássicos;
- Selecção de um conjunto de processos ou operações que poderão vir ser utilizados no projecto de reutilização de água;
- Construção de uma base de dados com informações quantitativas e qualitativas das correntes de águas industriais, para posterior utilização no projecto de reutilização de água baseado na tecnologia *Water Pinch*.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho é constituído, para além da Introdução, por mais sete capítulos compostos pelos seguintes temas:

- **Problemática da água** - Refere-se a dados sobre a escassez da água no mundo, esclarece os principais usos da água, foca a importância da poupança, reutilização e reciclagem da água.
- **A água na indústria** – Este capítulo refere quais os principais usos da água, bem como as necessidades e fontes fundamentais de água numa indústria.
- **CUF- Químicos Industriais** – Nesta parte há uma breve descrição geral da indústria química, pormenorizando, de seguida, a fábrica CUF-QI de Estarreja.
- **Metodologia** – Este capítulo descreve detalhadamente a metodologia implementada para a realização deste trabalho.
- **Resultados e Discussão** – Apresenta os resultados obtidos e a discussão dos mesmos.
- **Propostas de uso eficiente de água na indústria** - Este capítulo expõe uma base de dados construída com os resultados obtidos deste trabalho e faz referência a algumas medidas que, após a análise dos resultados, se podem considerar viáveis de por em prática para uma possível reutilização directa da água na CUF- QI.
- **Conclusão** – Neste último capítulo são apresentadas as conclusões obtidas com a elaboração deste trabalho.

2 A PROBLEMÁTICA DA ÁGUA

2.1 DISPONIBILIDADE DA ÁGUA

A água é um recurso natural com um valor inestimável. Além de ser indispensável à produção, é também um recurso estratégico para o desenvolvimento económico, é vital para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos que mantêm em equilíbrio os ecossistemas e é, ainda, uma referência cultural e um bem social indispensável à adequada qualidade de vida das populações (Queiroz, 2005). No entanto, o cenário de escassez de água é evidente, uma vez que a razão procura/oferta relativamente à água tem vindo a aumentar de forma exponencial. A crescente procura, comparativamente à oferta cada vez menor de água doce, é um tema preocupante para a sociedade (PNUD, 2006).

Existem muitos países atingidos pela pressão da falta de água, que registam taxas de crescimento populacional muito elevadas, e em que as reservas per capita têm vindo a diminuir rapidamente. Como se pode observar na Figura 2.1 e considerando o ano de 1950 como marco, a distribuição do crescimento global da população tem vindo a modificar, de forma acentuada, as disponibilidades de água per capita (PNUD, 2006).

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) 2006, por volta do ano 2025, mais de 3 mil milhões de pessoas poderão viver em países sujeitos a pressão sobre os recursos hídricos e 14 países irão passar de uma situação de pressão sobre os recursos hídricos para uma situação de escassez efectiva.

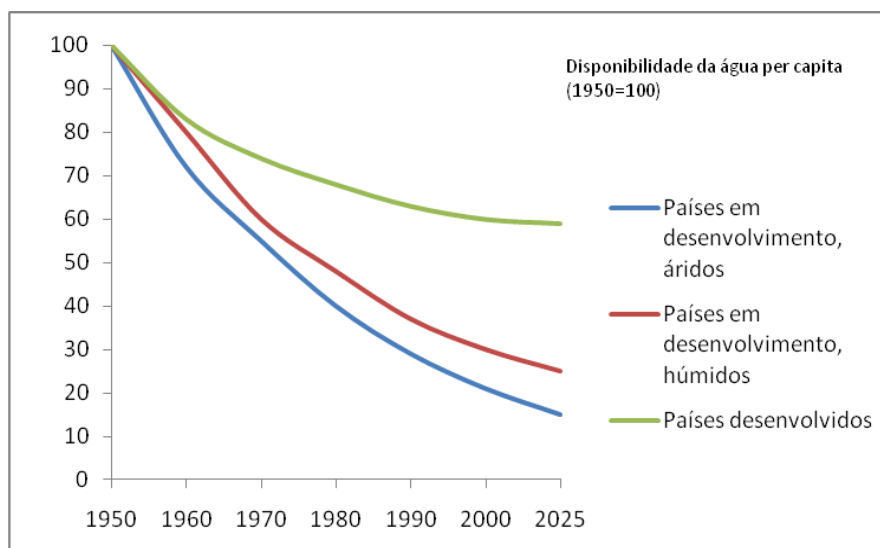


Figura 2.1- Disponibilidade da água
Figura adaptada de PNUD, 2006

2.2 PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA

Tal como no passado, ainda hoje, o ser humano usa a água principalmente para irrigação. Algumas das mais importantes civilizações — Egípcia, Mesopotâmica, Indiana e Chinesa — fixaram-se junto aos cursos de água com o objectivo de os usarem para fins agrícolas. Apesar de a irrigação e a agricultura continuarem a ser as principais consumidoras de água, verifica-se que desde o início do século XX a utilização da água na indústria e ao nível autárquico tem vindo a crescer. Esta tendência é mais notória nos países desenvolvidos, onde o valor de consumo de água para fins industriais se aproxima do valor de consumo de água para fins agrícolas (PNUD, 2006).

De acordo com alguns dados da UNESCO, pode afirmar-se que a distribuição do uso de água varia consoante o nível de desenvolvimento económico do país. A nível mundial, 22% da água serve o sector industrial, 70% serve a agricultura e os restantes 8% são destinados ao uso doméstico.

Observando a Figura 2.2 e comparando os países desenvolvidos com os países com baixo ou médio nível de desenvolvimento é possível verificar que nos países desenvolvidos a captação de água para uso industrial é praticamente seis vezes superior em relação aos países com baixo ou médio nível de desenvolvimento.

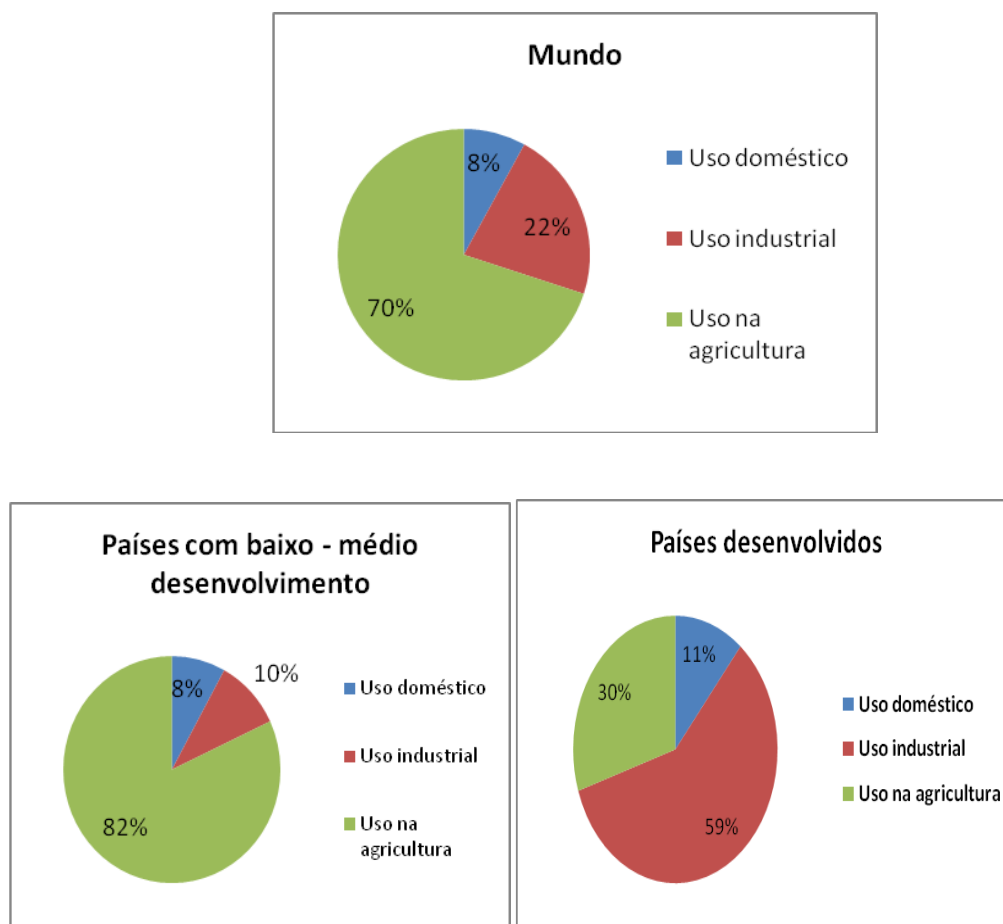


Figura 2.2- Usos competitivos de água por grau de desenvolvimento dos países
Figura adaptada de http://www.unesco.org/water/wwap/facts_figures/water_industry.shtml

2.3 POUPANÇA, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DA ÁGUA

Já foi referido anteriormente que o inadequado abastecimento de água e a deterioração da qualidade da água representam, actualmente, sérias preocupações para muitos municípios, indústrias e para a agricultura. Vários factores têm contribuído para estes problemas, tais como o contínuo crescimento populacional nas áreas urbanas, a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, a distribuição desigual de recursos hídricos e as frequentes secas (PNUD, 2006). Como tal é urgente que se proceda a alternativas que levem à redução dos consumos de água. Por exemplo, nas indústrias deve-se reduzir o consumo de água, optando prioritariamente pela adopção de tecnologias que permitam a minimização do consumo de água ou a sua reutilização.

Na indústria, a adopção de metodologias de reciclagem e/ou reutilização das correntes de efluentes aquosos, não só diminui a quantidade de água utilizada, pelos processos industriais, como também implica a redução de custos na captação e tratamento de água, no tratamento de efluentes e na disposição final de resíduos (Sautchúk, 2005). Portanto, a reutilização de água pode ser considerada uma ferramenta bastante útil trazendo vários benefícios, tanto a nível ambiental como económico e social.

A nível ambiental pode destacar-se a redução de efluentes para o meio receptor natural, a redução da captação de águas superficiais e subterrâneas e o aumento da disponibilidade de água, de melhor qualidade, para usos de maior exigência. Os benefícios económicos podem ser considerados directos, quando se referem à mudança de padrões produtivos e de consumo e à redução dos custos de produção e custos energéticos. Ou podem ser indirectos quando levam à melhoria da imagem da empresa, aumentando assim a competitividade do sector. Relativamente à sociedade, os benefícios manifestam-se através da criação de oportunidades de negócio para empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, pelo aumento da criação de empregos directos e indirectos e pela boa imagem que o sector produtivo transmite ao público, fazendo com que sejam reconhecidas como empresas socialmente responsáveis (Sautchúk, 2005).

3 A ÁGUA NA INDÚSTRIA

A indústria, devido às actividades que desenvolve, representa um sector com grande uso de água. Portanto, é importante que o sector industrial esteja atento aos meios disponíveis para se utilizar de forma eficiente esse recurso natural.

A UNESCO estimou que em 1995 o uso de água no sector industrial era de 752 Km³/ano e que este valor iria aumentar para cerca de 1170 km³/ano em 2025. Estas previsões levam a uma extrema necessidade de criar boas práticas de forma a racionalizar o uso dos recursos hídricos e mitigar os impactos negativos relativos à geração de efluentes, tornando mais eficiente o uso da água pelo sector industrial.

A implementação de estratégias específicas para optimização do uso da água na indústria pode não só resultar em importantes benefícios económicos e ambientais associados às reduções do consumo de água, energia e águas residuais geradas e respectivo tratamento, mas também à melhoria da imagem da empresa industrial, contribuindo ainda para atender às crescentes exigências legislativas aplicáveis em matéria ambiental (Silva, 2002).

Na indústria portuguesa, os maiores consumos de água ocorrem ao nível dos sectores de transformação, nomeadamente no fabrico de: pasta de papel, papel e cartão, produtos alimentares e bebidas, metalúrgicas de base, produtos químicos e têxteis (Silva, 2002).

O Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, refere que o sector industrial do país pode aumentar consideravelmente a sua eficiência actual de utilização da água, implementando medidas preconizadas no referido programa. Esta poupança de volume de água consumida pode corresponder a um valor económico bastante significativo. É de salientar o interesse económico associado ao uso eficiente da água na indústria, devendo ser considerado como um factor de produção passível de gerar um aumento da ecoeficiência e uma melhoria da imagem das empresas devida ao seu adequado desempenho ambiental (Silva, 2002).

A quantidade e a qualidade da água necessária ao desenvolvimento das diversas actividades consumidoras de uma indústria dependem de seu ramo de actividade e capacidade de produção.

A água pode ser usada na indústria em diversas aplicações e geralmente os seus principais usos são os seguintes (Sautchúk, 2005):

- **Consumo humano** em que a água utilizada em ambientes sanitários, vestiários, cozinhas e refeitórios, bebedouros, equipamentos ou em qualquer actividade doméstica com contacto humano directo;

- **Uso da água como matéria – prima** – Nestes casos a água é incorporada ao produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de cervejas e refrigerantes, de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, de cosméticos, de alimentos e conservas e de fármacos, ou

onde, a água é utilizada para a obtenção de outros produtos, por exemplo, o hidrogénio por meio da electrólise da água.

- **Uso da água como fluido auxiliar**, ou seja, a água pode ser utilizada em diversas actividades, tais como, por exemplo, a preparação de suspensões e soluções químicas, para reagentes químicos ou para as operações de lavagem;
- **Uso da água para geração de energia**, em que a água pode ser utilizada por meio da transformação da energia cinética, potencial ou térmica, acumulada na água, em energia mecânica e posteriormente em energia eléctrica;
- **Uso da água como fluido de aquecimento e/ou arrefecimento**, ou seja, a água é utilizada como fluido para permuta de energia calorífica, quer se trate de aquecimento ou arrefecimento.
- **Outros usos**, como por exemplo para combate a incêndios, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, sejam na fase sólida, líquida ou gasosa.

Cada ramo de actividade da indústria define as características da qualidade da água a ser utilizada nas suas actividades. Importa referir que numa mesma indústria podem ser utilizadas águas com diferentes níveis de qualidade e que a capacidade de produção da indústria é que define qual a quantidade de água necessária para cada uso.

A qualidade da água é definida em função de características físicas, químicas, microbiológicas e radioactivas (Sautchúk, 2005):

- **Consumo humano**: água que cumpre as características impostas pelo Decreto de Lei (DL) nº 236/98 de 1 de Agosto, que se encontra descrito no Anexo I.
- **Matéria-prima**: o índice de qualidade neste ponto poderá variar consoante o produto e o fim a que se destina. A qualidade poderá ser igual ou mesmo superior à água para consumo humano de forma a garantir a qualidade final do produto e a protecção do consumidor;
- **Geração de energia**: Para aproveitamentos de energia cinética e/ou potencial, a água poderá ser usada no seu estado bruto. No aproveitamento da sua energia térmica, o índice de qualidade, deverá ser elevado de forma a preservar o bom estado dos equipamentos envolvidos (exemplo: geradores de vapor);
- **Fluido térmico**: comparativamente à geração de energia, a água neste tipo de processo deverá manter índices de qualidade elevados de forma a proteger a vida útil dos equipamentos envolvidos (exemplos: permutadores de calor, torres de arrefecimento);

3.1 NECESSIDADE DE ÁGUA

A água é bastante utilizada em processos industriais como alimentação de caldeiras, águas de processos, água de lavagem, etc. A utilização da água resulta em dois grandes problemas para as indústrias: o custo de água fresca e o custo do tratamento dos efluentes que são gerados. Mesmo em casos onde o custo de água fresca é baixo, o custo do tratamento dos efluentes está a tornar-se cada vez mais alto, à medida que a legislação ambiental se torna mais rígida. Utilizar a água de forma mais eficiente resulta em benefícios tanto em termos de redução de gastos com a água fresca quanto com tratamento de efluentes.

Ao avaliar as diferentes necessidades de água, podem ser identificadas algumas medidas para otimizar os consumos, minimizar efluentes e reduzir o volume de perdas e desperdícios. Para o caso de medidas de reutilização, estas só podem ser elaboradas e implementadas após uma análise criteriosa dos equipamentos, processos e de um cruzamento dos dados resultantes com os índices de qualidade requerida (Batista, 2001).

Identificando os consumos em cada sector e acompanhando os processos produtivos poder-se-á verificar se algum consumo considerado significativo está relacionado com algum género de perda e/ou desperdício. Estas perdas e/ou desperdícios podem estar ligadas a vazamentos nas tubagens ou equipamentos, a sistemas que tenham sido mal projectados e que tenham um mau desempenho e também devido a negligência dos operadores (Hespanhol, 2007).

Estas situações, quando identificadas, poderão ser vistas como oportunidades de poupança de água sem grande investimento de capital.

Numa perspectiva de reutilização, caso haja perdas e desperdícios, esta situação tem que ser reparada e só depois é que se poderá analisar a possibilidade de reutilização.

3.2 OFERTA DE ÁGUA

Em qualquer tipo de indústria, a água fornecida poderá ser através de cinco fontes principais (Sautchúk, 2005):

- Rede pública;
- Águas subterrâneas;
- Águas de superfície;
- Águas pluviais;
- Águas reaproveitadas.

A escolha da água de alimentação para um dado processo industrial deve ser cuidada, visando sempre a qualidade e segurança de consumidores e utilizadores. É necessário que haja uma prevenção de possíveis contaminações não só dos produtos mas também das pessoas, e que a água que circula em todos os sistemas de distribuição esteja devidamente classificada (Sautchúk, 2005).

3.2.1 REDE PÚBLICA

A água que se encontra na rede pública é destinada ao consumo humano, e como tal está sujeita a tratamento, que segundo o DL nº236/98 de 1 de Agosto, varia consoante a qualidade de água na origem.

Em Portugal, grande parte das águas destinadas ao consumo humano provêm de captações directas de águas de superfície por concessionárias. As águas são extraídas de rios ou barragens e após o devido tratamento são distribuídas.

Segundo o novo DL nº 194/2009, de 20 de Agosto, as empresas de abastecimento estão responsáveis de garantir os graus de qualidade exigidos pelo DL em vigor, assegurando também o fornecimento contínuo de água e também:

- Promover a universalidade e garantir a igualdade de acesso à água;
- Garantir a qualidade dos serviços e protecção dos interesses públicos;
- Desenvolver a transparência na prestação de serviços;
- Proteger a saúde pública e o Ambiente;
- Garantir a eficiência e melhoria contínua na utilização dos recursos afectos, respondendo à evolução das exigências técnicas e às melhores técnicas ambientais disponíveis.

3.2.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Uma fonte alternativa usada na indústria são as águas subterrâneas.

Segundo a Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), as águas subterrâneas são um recurso natural fundamental para a vida e para a integridade dos ecossistemas e representam mais de 95% das reservas de água doce exploráveis do globo, o que faz com que mais de metade da população mundial dependa das mesmas.

Geralmente a captação de água subterrânea é feita através de furos. No entanto, a exploração inadequada destas águas pode resultar na alteração indesejável de sua quantidade e qualidade.

A poluição das águas subterrâneas pode ter várias causas, nomeadamente (APRH, 2005):

- Uso excessivo de adubos e pesticidas na agricultura;
- Lixiviação de resíduos industriais não tratados;
- Lixiviados oriundos de aterros sanitários;
- Construção incorrecta de fossas sépticas;
- Intrusão de águas salobras devido à exploração intensiva dos aquíferos costeiros.

3.2.3 ÁGUAS DE SUPERFÍCIE

Em algumas indústrias, uma das fontes de água é a captação de águas superficiais, portanto de águas de torrentes, rios e lagos, excluindo-se os oceanos e estuários pelo inconveniente da salinidade. Os principais problemas dizem não apenas respeito a aspectos qualitativos mas sobretudo a aspectos quantitativos. Geralmente pretendem-se caudais não só com quantidade suficiente mas também com condições de captação o mais regulares possíveis ao longo do tempo (Sousa, 2001).

Em rios ou lagos, as captações geralmente são directas, uma vez que neste caso o caudal superficial é sempre superior ao caudal da captação requerido. No entanto, quando ocorrem casos em que os caudais afluentes são insuficientes as captações são feitas em albufeiras de açude ou barragens que permitem obter os caudais necessários em épocas de seca, por exemplo (Sousa, 2001).

É notável que as águas superficiais existem em maior quantidade, permitindo assim caudais de captação mais elevados que as águas subterrâneas, no entanto em relação a estas, as águas superficiais apresentam piores condições de qualidade, por esta razão é que a maior partes das grandes cidades são abastecidas por águas superficiais e portanto possuem complexas estações de tratamento (Sousa, 2001).

Para poder captar águas superficiais é necessário proceder ao dimensionamento e cálculo da capacidade de captação de águas superficiais. Para isto é estritamente necessário conhecer a estrutura hidrológica das séries de caudais, afluentes no local da captação, da sua frequência e, ainda, da dinâmica dos escoamentos fluviais (Sousa, 2001).

3.2.4 ÁGUAS PLUVIAIS

A maioria das indústrias apresenta grandes áreas de telhados e pátios, como tal o aproveitamento das águas pluviais torna-se uma fonte alternativa de água.

Geralmente as águas pluviais apresentam uma qualidade superior à dos efluentes que são considerados aptos para reutilização e os sistemas utilizados para a sua colheita e armazenamento não apresentam custos elevados (Hespanhol, 2007).

O aproveitamento de águas pluviais requer estudos específicos para cada situação particular. São necessários dados da área de cobertura ou dos pátios, características pluviométricas locais e características da área disponível para implantação de reservatórios e de eventuais sistemas de tratamento e de distribuição (Hespanhol, 2007).

Tal como nos casos anteriores, também a utilização de águas pluviais nas indústrias, requer a gestão da qualidade e quantidade.

E quando a água pluvial é utilizada para fins como rega de jardins ou lavagem de áreas externas, a água não necessita de tratamentos com custos elevados. Desta forma, ao reservar e utilizar águas pluviais, há uma redução do consumo de água de qualidade mais elevada.

3.2.5 ÁGUAS REAPROVEITADAS

Hoje em dia considera-se que a água é um bem escasso, cuja preservação é essencial. Assim, a nível industrial, uma das preocupações quando se referem questões ambientais é a da minimização do consumo de água, o que passa, necessariamente, pela reutilização das águas (Rasteiroa *et al.*, 2005).

Nas Figuras 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4, adaptadas de Natural Resources Canada (2003), estão esquematizadas algumas possíveis formas para a reutilização da água na indústria, que vão desde o não aproveitamento de águas residuais, até à reciclagem e à reutilização.

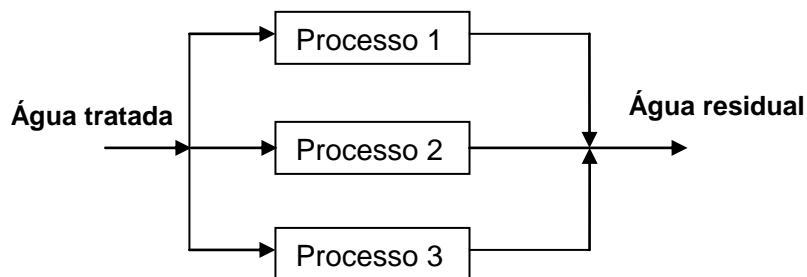


Figura 3.1- Reutilização de água na indústria - sem reutilização e sem reciclagem

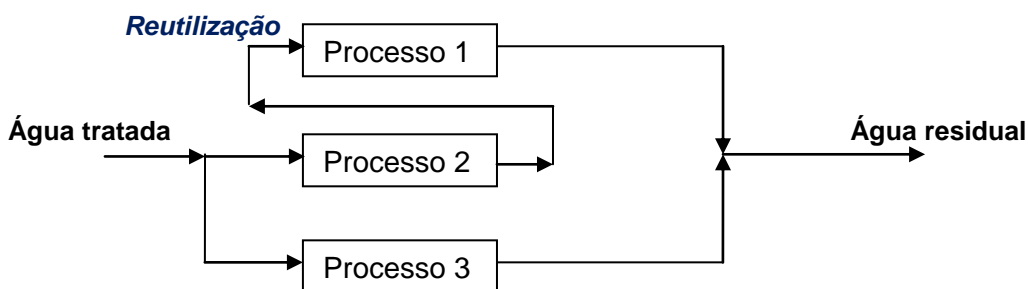


Figura 3.3 - Reutilização de água na indústria – com reutilização

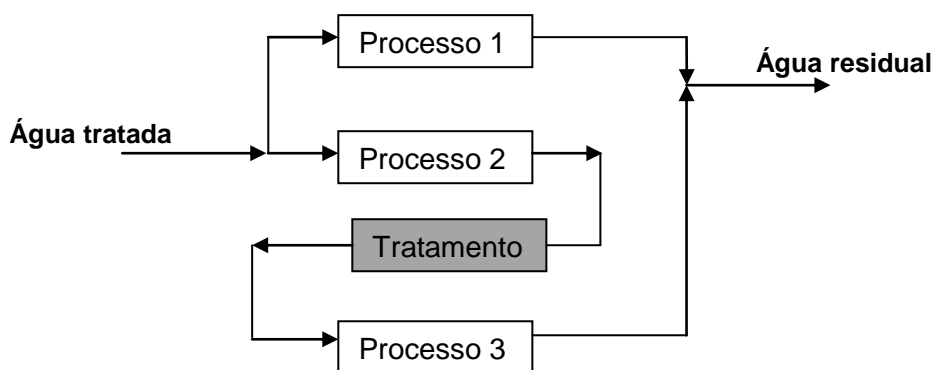


Figura 3.2 - Reutilização de água na indústria – com tratamento prévio à reutilização

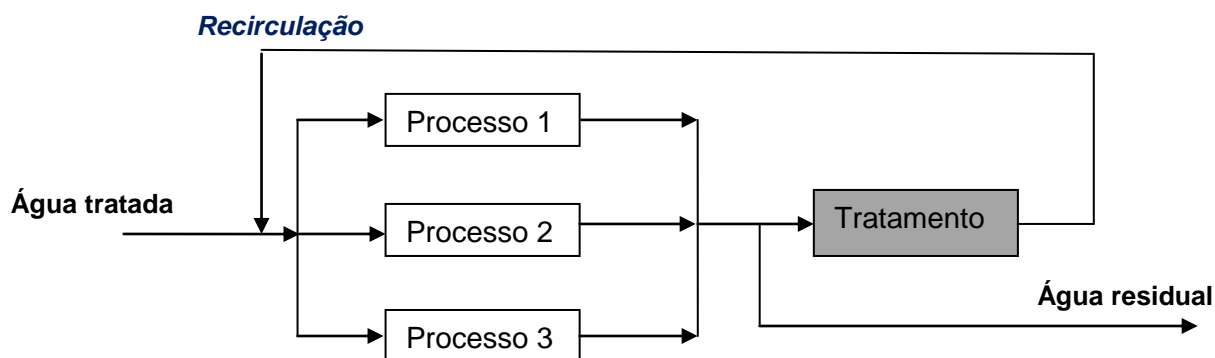


Figura 3.4 – Reutilização de água na indústria - com tratamento prévio à reciclagem

No processo de reaproveitamento de águas é importante entender a terminologia usada na área de recuperação e reutilização da água. Geralmente podem-se considerar três designações diferentes (Asano, 2002):

- Água reciclada: água que sofre tratamento e que vai ser utilizada no mesmo processo que a gerou;
- Água reutilizada: água que é utilizada mais de uma vez dentro da unidade industrial, sem sofrer qualquer tratamento prévio;
- Água recuperada: água que é reaproveitada, passando por um tratamento parcial e que posteriormente é reutilizada em processos diferentes, em que o índice de qualidade é menos exigente.

A utilização da água recuperada deve constituir uma directriz da política de gestão integrada dos recursos hídricos, pois a utilização de águas residuais tratadas conduz a uma gestão dos recursos hídricos mais sustentável, uma vez que representa benefícios ambientais fundamentais, nomeadamente pelo facto de o efluente tratado ser utilizado como um recurso hídrico e pelo facto de o efluente não ser descarregado nos meios receptores, levando à redução da poluição das águas superficiais e subterrâneas (Marecos do Monte, 2005).

Quando se pretende proceder à utilização de águas residuais tratadas é essencial que haja o conhecimento do caudal disponível e das suas flutuações, bem como das características qualitativas das águas residuais não tratadas. Com estas informações é possível abordar quais as aplicações da reutilização, que dependem do volume de água disponível e da composição da água a reutilizar.

São vários os factores que podem influenciar as diferentes aplicações da reutilização de águas residuais tratadas, nomeadamente (Do Monte, 2010):

- A qualidade das águas residuais tratadas, o que depende do seu nível do tratamento;
- O tipo de tecnologia associado ao tratamento das águas residuais;
- O equilíbrio entre a procura e a oferta de água para reutilizar, ou seja, entre o volume de água necessário para determinada utilização e o volume disponível de águas residuais tratadas;

- As infra-estruturas necessárias à concretização da reutilização (reservatórios, sistemas de transporte e distribuição)
- A sustentabilidade económico-financeira do projecto de reutilização;
- A mitigação dos impactes ambientais associados à reutilização.

A água é reutilizada para diversas finalidades, tais como, a rega paisagística (aplicação na qual se destaca a rega de campos de golfe), a reutilização industrial (principalmente como reciclagem de água de arrefecimento), a recarga de aquíferos, determinados usos recreativos e ambientais, usos urbanos que não obrigam à utilização de água potável e também como reforço de origem de água bruta para produção de água para consumo humano (Marecos do Monte, 2005).

Focando apenas a reutilização industrial, esta é a que representa a terceira principal aplicação de reutilização de águas, em que frequentemente a água é reutilizada para a mesma utilização, sem necessidade de ser submetida a qualquer tipo de tratamento, quando muito uma adição de um certo volume da mesma água, para repor perdas por evaporação (Do Monte, 2010).

As indústrias consideradas grandes consumidoras de água são as centrais de produção de energia termoelétrica e de energia nuclear, as fábricas de pasta de papel e de papel, as fábricas de têxteis, a indústria química, as refinarias de petróleo, as indústrias alimentares e extracção de minérios e algumas destas são as que mais esforços têm realizado no sentido de reciclar e reutilizar água, principalmente como água de arrefecimento. No entanto, os padrões de qualidade da água para reutilização industrial são muito específicos para cada tipo de indústria. Algumas aplicações requerem água de elevada qualidade, como a produção de vapor, outras são compatíveis com águas menos tratadas, como a construção pesada. Por exemplo, na água de arrefecimento são importantes as características que podem dar origem a fenómenos de corrosão ou de incrustação (nomeadamente o teor de sólidos dissolvidos totais, os cloretos, o oxigénio dissolvido), ou à formação de filmes biológicos nas condutas (como os resíduos de matéria orgânica). Além da qualidade da água, também o balanço entre as necessidades da indústria e a disponibilidade é considerado um factor muito relevante na reutilização da água na indústria (Do Monte, 2010).

A reutilização da água pode ser realizada através da reutilização em cascata ou através da reutilização de efluentes tratados (Sautchúk, 2005).

Na reutilização em cascata o efluente que é gerado em determinado processo industrial, e que apresente os índices de qualidade requeridos, é utilizado como alimentação a um processo subsequente. Este tipo de reutilização não é muito dispendiosa uma vez que quando bem planeada dispensa processos de recolha e armazenamento. No entanto, este tipo de processo implica uma análise criteriosa dos diferentes efluentes. Ou seja, os processos com maior geração de efluentes têm de ser destacados, segregando os de menor qualidade, reutilizando aqueles com menor concentração de contaminantes. Também é necessário identificar as actividades receptoras destes efluentes, para que haja uma correlação entre oferta e procura, quer quantitativamente como qualitativamente, uma vez que a substituição da fonte de abastecimento de água por um efluente poderá, em alguns casos, mostrar-se como uma opção pouco viável (Sautchúk, 2005).

Em alguns casos pode verificar-se que um dado efluente apresenta características próximas das necessárias para um processo subsequente, no entanto não atinge os requisitos de qualidade exigidos. Quando ocorrem estas situações, sugere-se que efluente seja diluído, com água da rede pública, de forma a se atingirem os índices de qualidade exigidos (Sautchúk, 2005).

Na reutilização de efluentes tratados, ocorre o tratamento prévio destes, sendo depois reutilizados em outros processos. Uma vez que neste tipo de processo é necessário o tratamento de efluentes, é essencial identificar um ou vários tratamentos que possibilitem a remoção de um ou vários contaminantes excedentes. Tratamentos eficientes irão permitir a reutilização de todo o efluente tratado, sendo necessário apenas efectuar a reposição das perdas que ocorrem ao longo do processo e a quantidade rejeitada com o efluente da unidade de tratamento (Sautchúk, 2005).

No geral, a reutilização de águas residuais é uma prática vantajosa para os sectores industriais, uma vez que para além das vantagens económicas e ambientais, também se enquadra nas estratégias de gestão ecoeficiente que a maioria das indústrias utiliza no âmbito da implementação de sistemas de gestão ambiental.

4 CUF-QUÍMICOS INDUSTRIAIS

A Indústria Química é responsável por um vastíssimo leque de produtos essenciais para o bem-estar da Humanidade, quer na sua utilização directa, quer na sua incorporação em outros sectores produtivos, na indústria, na construção ou em serviços.

Embora seja pouco conhecida dos consumidores, a indústria química desempenha um papel fundamental na economia moderna. Apesar de muitos dos seus produtos não serem directamente visíveis, são utilizados no fabrico de muitos dos bens que são consumidos diariamente, tais como: produtos químicos inorgânicos de base e derivados; produtos químicos orgânicos de base e derivados; adubos; agroquímicos e agentes de protecção de plantas; plásticos e resinas e borrachas sintéticas; fibras artificiais e sintéticas; produtos farmacêuticos; resinosos; tintas e vernizes; tensioactivos, sabões e detergentes; colas, adesivos e mastiques; óleos essenciais, perfumes e cosméticos; óleos e gorduras não alimentares (De Azevedo, 2005).

Numa perspectiva de mercado, o critério adoptado pelo CEFIC (Conselho Europeu para a Indústria Química) para organização e estudos estatísticos do sector tem por base o agrupamento de produtos por grupos-alvo de consumo. Com este critério condensa-se os produtos da indústria química em quatro grandes classes de produtos (De Azevedo, 2005):

- produtos químicos de base e derivados;
- produtos de especialidade e química fina;
- produtos farmacêuticos;
- produtos de consumo geral.

Nesta lista ficou de fora todo um conjunto de produtos de indústrias igualmente relevantes, nomeadamente: indústria alimentar; indústria têxtil; refinação de petróleo; produção de elastómeros e artefactos de borracha; indústria de celulose e papel; indústria do vidro; indústria cerâmica; indústria do ambiente e as bio-indústrias (De Azevedo, 2005).

Qualquer um destes sectores é fundamental para o bem-estar no dia-a-dia do ser humano.

As indústrias químicas com as suas trajectórias ditadas pelo equilíbrio da evolução da economia com a reacção humana de sustentabilidade e também ditadas pela evolução da tecnologia e da ciência, deverão existir de corpo próprio como sector e disciplina com uma contribuição distinta das outras, essencial para as necessidades e para o bem-estar da Humanidade. É importante que as empresas tenham engenho e capacidade estratégica para implementar mudanças e para tomar opções de racionalização de produção e de oportunidade de produção (De Azevedo, 2005).

A CUF-Químicos Industriais é uma empresa industrial química que lidera a Área dos Químicos Industriais do Grupo CUF, a holding química do Grupo José de Mello (CUF-QI, 2006).

A CUF-QI está sediada e tem instalações fabris no Complexo Químico de Estarreja onde se dedica à produção de produtos químicos orgânicos e inorgânicos, sendo assim constituída por

duas unidades, respectivamente, o sector de Produção de Cloro – Álcalis (PCA) e o de Produção de Anilina e Derivados (PAD).

Os seus produtos fabricados a partir de matérias primas como o benzeno, amoníaco e cloreto de sódio, têm aplicações em diversificados sectores industriais, como sejam, indústria química, farmacêutica, alimentar, têxtil, tratamento de água, papel, entre outras, sendo uma proporção significativa destinada à exportação directa ou incorporada noutros produtos de exportação (CUF-QI, 2006).

A empresa realiza no mercado externo mais de 50% das suas vendas, destacando-se entre os seus clientes grandes grupos químicos multinacionais, como a Bayer, BASF, Huntsman/ICI, etc (CUF-QI, 2007).

No mercado interno, o principal cliente é a DOW Portugal, subsidiária da DOW Chemicals Company, uma das principais multinacionais da indústria química e uma das maiores produtoras mundiais da fileira dos poliuretanos (IDAD, 2007 a).

A DOW Portugal está situada no Complexo Químico de Estarreja (CQE), tal como a CUF-QI, de quem recebe grande parte das suas matérias-primas, como sejam anilina, cloro e soda cáustica, para a produção de MDI (Difenilmetano Diisocianato), um produto intermédio que é transformado em poliuretanos noutras instalações da DOW. Por seu turno, a DOW devolve gás clorídrico à CUF-QI, que esta absorve e comercializa no mercado ibérico (IDAD, 2007 a).

No entanto, não é só com a DOW que a CUF-QI estabelece relações comerciais. A CUF-QI têm inúmeras relações comerciais com outras empresas pertencentes ao Pólo de Estarreja, nomeadamente com a AIR LIQUIDE e a CIREs, entre outras. Esta concentração de empresas pretende facilitar o transporte e troca de produtos, que sendo produtos acabados em algumas indústrias, irão ser matérias-primas ou produtos auxiliares para outras (CUF-QI, 2007).

As instalações de PCA, na CUF-QI, destinam-se à produção de cloro, soda cáustica, hidrogénio e produtos derivados. Actualmente esta instalação possui uma Unidade de Electrólise de NaCl, uma Fábrica de HCl, uma Unidade de Electrólise de HCl, uma Unidade de Liquefacção de Cloro e uma Fábrica de Hipoclorito de Sódio (IDAD, 2007 a).

As instalações de PAD possuem quatro fábricas - Ácido Nítrico, Mononitrobenzeno, Anilina e Ácido Sulfanílico, e uma unidade de recuperação de ciclohexilamina (CHA) e outra de recuperação de Ciclohexanol (CHOL). Neste caso, as instalações produtivas estão na sua maioria interligadas entre si, ou seja, o produto de uma é utilizado como matéria-prima de outra (IDAD, 2007 a).

Sendo a CUF-QI uma empresa com valor no mercado, e que na sua produção consome valores significativos de água, tem a possibilidade de futuramente elaborar um projecto, através da análise de *Water Pinch*, para reutilização de água processual. Portanto, para este projecto de reutilização de água, é necessária a validação de informações das correntes de água actualmente existentes na empresa referida.

5 METODOLOGIA

A metodologia implementada neste trabalho permite, através da análise de processos, actividades e da identificação das características quantitativas e qualitativas da água consumida e dos efluentes gerados em cada sector, avaliar as oportunidades para implementação de práticas que reduzam o consumo de água por meio da optimização do uso e de reutilização.

Qualquer método que tenha como objecto a optimização do consumo de água, numa determinada instalação industrial, necessita de informações coerentes de como, onde e porquê é utilizada água. Estas informações credíveis sobre o uso da água requerem o levantamento quantitativo e qualitativo, ou seja, caudal e composição das correntes de água utilizadas em qualquer um dos processos, onde a água é necessária e fundamental (Hespanhol, 2007).

Após todas as informações terem sido recolhidas é possível fazer um diagnóstico ao uso eficiente da água, permitindo assim determinar o volume mínimo de água necessário para cada operação unitária, sem comprometer o bom desempenho dessas actividades.

Depois de otimizar o consumo por operação unitária, pode-se efectuar uma avaliação de possíveis reutilizações de efluentes gerados em processos passíveis de utilizar uma água de menor qualidade.

Portanto, o presente trabalho foi feito através de um completo levantamento de dados relativos ao consumo de água na CUF-QI, origem, usos e destino dessa água, tendo sido caracterizados os vários consumos efectuados e determinadas as diferentes necessidades por cada secção fabril. Este levantamento de dados foi feito através de uma consulta e análise de vários documentos relacionados com a CUF-QI, visitas às instalações fabris e diálogos com os responsáveis das várias secções fabris. Depois de todos os dados recolhidos foram analisadas todas as necessidades e ofertas de água na fábrica e onde se procedeu à escolha de dados em falta e que necessitavam de ser validados e estudados.

Seguidamente, está descrita em pormenor toda a metodologia usada para a elaboração deste trabalho.

5.1 ANÁLISE DOCUMENTAL

A recolha de dados referentes aos consumos de água na CUF-QI foi feita inicialmente através da análise de vários documentos respeitantes à indústria em questão. Esta análise debruçou-se sobre as informações relativas às características da produção industrial e produtos gerados, sobre os dados de consumos de água por sector, pela observação dos fluxogramas dos processos e plantas dos edifícios, dados sobre os efluentes de cada secção da unidade fabril e pelos índices de qualidade por secção e/ou processo. Muitas vezes alguma desta informação encontrava-se desactualizada ou era composta por estimativas que poderiam não

corresponder à realidade, e nestes casos a informação recolhida foi devidamente conferida e corrigida.

Para efectuar este trabalho procedeu-se à leitura dos manuais operatórios das várias unidades da fábrica, à análise da Licença Ambiental atribuída à instalação industrial e do projecto de ampliação da CUF – QI, à observação das plantas das várias instalações fabris e à consulta diária ao sistema SIAP.

O SIAP é um sistema de apoio à produção, onde são introduzidos grande parte dos dados relevantes relacionados com os processos industriais existentes na CUF-QI. O sistema contém nomeadamente esquemas dos processos, manuais operatórios, dados relativos à produção, etc.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES

De forma a complementar a análise documental, procedeu-se ao levantamento de dados em campo com vista a confirmar a informação recolhida nos documentos ou então a apurar certos pontos menos explícitos.

Nas visitas às diferentes secções da unidade fabril foi possível individualizar as diferentes etapas do fabrico. Estas visitas foram acompanhadas por pessoas qualificadas e houve a identificação superficial de diversas estruturas relacionadas com a distribuição de água, quer a nível do abastecimento, como também de tratamento e distribuição. Durante estas visitas também foi possível listar os equipamentos, processos e actividades usuárias de água assim como o respectivo período de funcionamento, as quantidades e qualidades requeridas.

Ao longo das vistorias e através de contactos com os responsáveis das secções fabris foi possível averiguar as formas de operar da maquinaria, os destinos dos fluxos de água industrial gerada e a qualidade da água que é requerida em cada processo.

5.3 NECESSIDADE E OFERTA DE ÁGUA

Depois de efectuada a análise documental e do levantamento de dados em campo, foi necessário analisar as necessidades e ofertas de água nas diferentes áreas da fábrica.

Esta abordagem às necessidades e ofertas da água na fábrica, fez-se considerando os volumes de água de alimentação e o volume de efluentes nas várias instalações.

Inicialmente começou por se fazer uma observação de carácter mais geral, mas foi-se aumentando, gradualmente, o nível de detalhe, passando a uma análise em cada uma das áreas da fábrica que foram consideradas importantes utilizadores de água e/ou produtores de efluentes.

Como alguns dados não se encontravam no sistema SIAP, os valores em falta foram obtidos através de leituras de contadores que já existiam nos locais ou que foram colocados propositadamente para esta leitura.

Em alguns casos de efluentes contínuos, a medição de caudais foi feita manualmente através de um recipiente e cronómetro.

Após a quantificação mais geral de todos os inputs de água que são relevantes ao objecto de estudo, foi necessário, como se disse anteriormente, afinar o estudo e identificar correntes de efluentes com potencial interesse de reutilização. Desta forma, surgiu a necessidade de caracterizar a forma de uso da água dentro das fronteiras do universo de estudo e focalizar pontos de interesse tendo em consideração a relação quantidade/qualidade.

5.4 ANÁLISES LABORATORIAIS DE EFLUENTES

Um dos factores que têm relevância para o estudo da reutilização de águas é a sua qualidade, houve a necessidade de avaliar a composição de efluentes que apresentam maior potencialidade para reutilização.

Na caracterização de efluentes tal como nos caudais de água de alimentação e de efluentes, houve alguns casos em que não havia registos de análises feitas aos efluentes em questão, por isso efectuou-se a análise e caracterização desses efluentes. Deve, no entanto, referir-se que estes efluentes à saída de cada fábrica convergem para um efluente final que é analisado continuamente.

As recolhas das amostras de efluentes e as respectivas análises foram efectuadas com o apoio dos operadores e dos analistas da empresa.

Na Tabela 5.1 estão descritos quais os parâmetros analisados, bem como a bibliografia ou métodos usados necessários a essa análise.

Tabela 5-1- Parâmetros analisados nos efluentes e a correspondente bibliografia ou os métodos utilizados

Parâmetros	Bibliografia ou Método
Condutividade	Aparelho medidor de condutividade da Consort modelo C832
pH	Aparelho medidor de pH da Metrohm modelo 744 pH Meter
Temperatura	Aparelho medidor de pH da Metrohm modelo 744 pH Meter
Sólidos Suspensos Totais	Método 2540 B do Standard Methods for the Examination of water and wastewater (2005)
Cloro total	Método 8167 do manual operatório do Espectrofotômetro HACH DR5000
Concentração de HCl	Vogel, Análise Inorgânica quantitativa, 6ª edição (2002)
Fe	Manual de procedimentos do Espectrofotômetro HACH DR 5000
NaOH	Vogel, Análise Inorgânica quantitativa, 6ª edição (2002)
Cloretos	Método 4500-Cl ⁻ B do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A recolha de dados referentes aos consumos de água na CUF-QI começou por ser feita através da leitura e análise de documentos de interesse e respeitantes à indústria em questão. Esta análise debruçou-se sobre as informações relativas às características da produção industrial e produtos gerados, sobre os dados de consumos de água por sector, pela observação dos fluxogramas dos processos e plantas dos edifícios, dados sobre os efluentes de cada secção da unidade fabril e pelos índices de qualidade por secção e/ou processo. Esta informação nem sempre se encontrava actualizada e notava-se, por vezes, alguma falta de coerência. Portanto, nestes casos, a informação recolhida foi validada em campo, através de medições no local e recolha de amostras para análise laboratorial.

Esta análise documental passou pela leitura dos manuais operatórios das várias unidades da fábrica, da Licença Ambiental atribuída à instalação industrial e do projecto de ampliação da CUF – QI, à observação das plantas das várias instalações fabris e à consulta diária ao sistema SIAP.

6.1 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DA CUF-QI

Depois de uma análise documental e de um levantamento de dados em campo, onde foi possível obter informações relativas às características da produção industrial e produtos gerados, sobre os dados de consumos de água por sector e onde foi possível conhecer dados sobre os efluentes de cada secção da unidade fabril e os índices de qualidade de água por secção e/ou processo, foi possível descrever brevemente cada um dos processos fabris da CUF-QI, descrever o sistema de distribuição da água, o processo de desmineralização da água, o sistema de tratamento de efluentes, bem como as utilidades.

6.1.1 *PRODUÇÃO CLORO-ÁLCALIS*

O sector de produção de Cloro-Álcalis (PCA) da CUF - QI destina-se à produção de cloro, soda cáustica, hidrogénio e produtos derivados. O cloro, a soda cáustica e o hidrogénio são produzidos na CUF-QI através da electrólise de uma solução aquosa de NaCl. As correntes destes três compostos, no seu todo ou em parte, alimentam o restante sistema de processos para o fabrico dos produtos derivados, que são o Hipoclorito de Sódio (NaOCl), Ácido Clorídrico (HCl) a 33% e Cloro líquido. Para além do NaCl, que é fornecido para a electrólise, também o Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) e o gás clorídrico (HCl) são constituídos como matérias-primas absorvidas pelo sistema. Também existe a produção de cloro e hidrogénio através da electrólise, composta com células de diafragma, de uma solução a 20% de HCl (IDAD, 2007 a).

Actualmente tal como refere a Figura 6.1, o sector de PCA compreende as seguintes unidades produtivas (IDAD, 2007 a):

- Unidade de Electrólise de NaCl;
- Unidade de electrólise de HCl;
- Fábrica de HCl;
- Unidade de Liquefacção de Cloro;
- Fábrica de Hipoclorito de Sódio;
- Concentração de Soda.

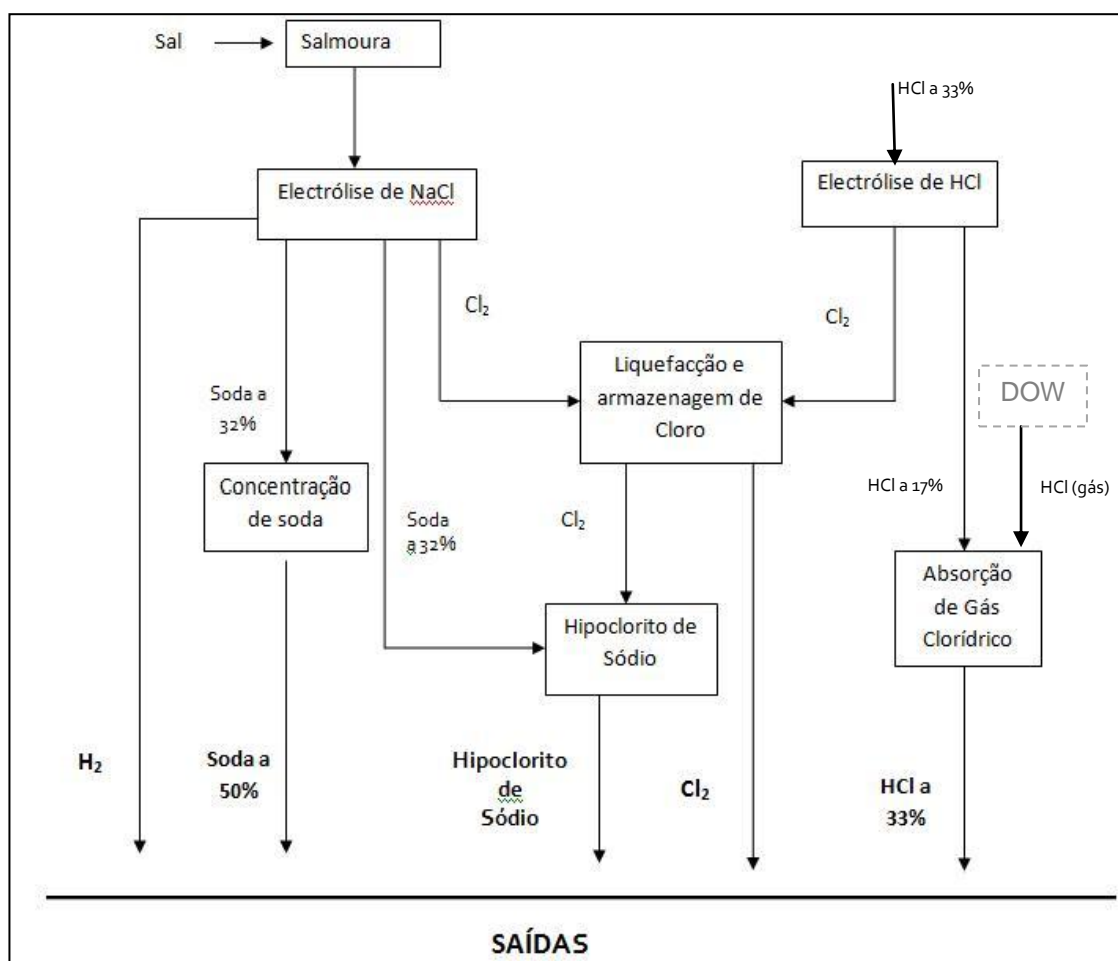


Figura 6.1- Esquema simplificado do sector PCA
Figura adaptada de IDAD, 2007 a

Seguidamente, está descrito de uma forma geral cada um dos processos do sector PCA.

6.1.1.1 Electrólise de NaCl

Esta unidade destina-se à produção de cloro e soda cáustica por electrólise, composta por células de membrana, de uma solução saturada de NaCl (Salmoura). A instalação onde é feita a electrólise possui duas salas operacionais, a AGC e a OXYTECH. Um electrolizador com membranas de permuta iónica consiste nos elementos da célula que são divididos em dois compartimentos, o do ânodo e o do cátodo. No anodo, parte do NaCl decompõe-se e produz cloro gasoso. No cátodo ocorre a produção de hidrogénio gasoso e soda cáustica (IDAD, 2007 a).

6.1.1.2 Tratamento da Salmoura

A salmoura presente nas células onde se dá a electrólise de NaCl, circula em circuito fechado passando sucessivamente pelas células e pelos tratamentos da salmoura (IDAD, 2007 b).

O tratamento da salmoura é composto por um tratamento primário e secundário.

No tratamento primário passa por um processo de desgasificação onde é eliminado o cloro e depois é enviada para saturação nos reservatórios dissolutores de sal, sendo posteriormente enviada para filtração (IDAD, 2007 b).

A elevada pureza de salmoura concentrada, para uma correcta operação das células de membrana, faz com que seja necessária uma segunda purificação para assegurar a remoção quase total de cálcio, magnésio e outros catiões polivalentes (IDAD, 2007 b).

No tratamento secundário, a salmoura é purificada novamente através de um leito de resinas de permuta iónica, onde são removidas as substâncias que lhe são prejudiciais (IDAD, 2007 b).

6.1.1.3 Fábrica de HCl

Na Fábrica de HCl ocorre a produção de Ácido Clorídrico a 100% a partir de HCl gasoso (gás clorídrico) absorvido em água desmineralizada e HCl a 17% proveniente da electrólise de NaCl. Nesta instalação existe uma unidade de síntese de HCl, onde há a produção de HCl gasoso através da queima de cloro e hidrogénio numa câmara de combustão. O HCl produzido é posteriormente absorvido na Unidade de Absorção de HCl. A proposta desta unidade é manter a produção de ácido clorídrico, para o caso de ocorrer alguma falha no fornecimento externo de gás clorídrico. Portanto, esta instalação não será de operação contínua, podendo inclusivamente estar parada anos consecutivos (IDAD, 2007 a).

6.1.1.4 Unidade de electrólise de HCl

Esta unidade destina-se à produção de cloro e hidrogénio por electrólise, com células de diafragma, de uma solução a 20% de HCl.

Os produtos da electrólise são constituídos pelo cloro e pelo hidrogénio, que saem das células saturadas em vapor de água e HCl, estando em equilíbrio termodinâmico com as correntes líquidas de HCl a 17% a 80 °C, necessitando então de arrefecimento e purificação. Depois de o

cloro passar por um permutador de calor, é ventilado e enviado para a Unidade de Liquefacção de Cloro (IDAD, 2007 a).

O Hidrogénio húmido é arrefecido num permutador que está em contacto directo com água. Aqui ocorre a condensação de grande parte da humidade e do gás clorídrico existente no Hidrogénio. Posteriormente, o Hidrogénio é desclorado numa torre de absorção onde reage com Soda Cáustica formando Hipoclorito de Sódio. A solução obtida é enviada à Fábrica de Hipoclorito de Sódio. O Hidrogénio obtido fica isento de cloro e de gás clorídrico e é enviado para o sector de PAD, para a Fábrica de Anilina e Derivados (IDAD, 2007 a).

6.1.1.5 Unidade de Liquefacção de Cloro

A instalação de Liquefacção do Cloro destina-se à produção de cloro líquido a partir do cloro gasoso que resulta das electrólises e é constituída por três linhas de liquefacção.

Neste processo, o Cloro passa por uma filtração, onde são removidas algumas impurezas arrastadas, principalmente cloreto de sódio, da electrólise. Depois da filtração, o Cloro ainda contém um teor de humidade demasiado elevado para ser comprimido e liquefeito, portanto segue para um processo de secagem, onde o Cloro é seco por contacto com uma corrente de Ácido Sulfúrico. Depois de seco, o Cloro, passa por um separador de gotas a fim de remover as gotículas de ácido sulfúrico arrastadas. O Ácido Sulfúrico diluído e clorado é enviado a um reservatório designado por desclorador, em que através de uma corrente de ar, o cloro é removido e enviado para a Fábrica de Hipoclorito de Sódio.

O Ácido Sulfúrico diluído é enviado para um cliente externo. O cloro gasoso segue para um coluna de lavagem e arrefecimento onde em contacto com cloro líquido são removidas as restantes impurezas, que ficam dissolvidas no cloro líquido. O cloro líquido residual é retirado continuamente e enviado a um reactor onde se realiza a decomposição de Tricloreto de azoto, sendo depois realimentado ao processo.

Finalmente, o cloro purificado e arrefecido está em condições de ser comprimido e enviado para armazenagem (IDAD, 2007 a).

6.1.1.6 Fábrica de Hipoclorito de Sódio

Na unidade de fabrico de Hipoclorito de Sódio ocorre não só a produção do próprio Hipoclorito de Sódio mas também a produção de soluções de Soda Cáustica a 24% e a armazenagem de Soda Cáustica a 32% (CUF – QI, 2008 a).

O Hipoclorito de Sódio é produzido pela absorção de cloro numa solução de soda cáustica (IDAD, 2007 a).

A produção de soluções de Soda Cáustica a 24% é efectuada através da diluição da soda cáustica a 33%, em água desmineralizada, até à concentração de 24%. Antes de a soda ser enviada para a produção de Hipoclorito de Sódio, a solução é homogeneizada e arrefecida com água gelada, através de uma recirculação forçada existente em cada tanque. A solução de soda a 24% e a 20 °C é então enviada continuamente à produção de Hipoclorito de Sódio, Electrólise de HCl e Absorção de Emergência (CUF – QI, 2008 a).

6.1.1.7 Concentração de Soda Cáustica

Parte da soda cáustica produzida em cada uma das electrólises é recirculada às respectivas células e outra parte é armazenada para atender a consumos internos e fornecer à Instalação de Concentração de Soda.

Nesta instalação, a concentração de soda cáustica 32% passa a 50% através de um sistema com três evaporadores. A soda a 50% obtida é arrefecida em três permutadores de calor de seguida a soda obtida é enviada à Armazenagem intermédia (UNITECA, 2001 c).

6.1.2 PRODUÇÃO DE ANILINA E DERIVADOS - PAD

O sector de PAD, esquematizado na Figura 6.2, é constituído pelas seguintes instalações produtivas:

- - Fábrica de Ácido Nítrico;
- - Fábrica de Nitrobenzeno;
- - Fábrica de Anilina e recuperação de Ciclohexilamina;
- - Fábrica de Ácido Sulfanílico;

Estas instalações produtivas estão na sua maioria interligadas entre si, uma vez que o produto de uma pode ser utilizado como matéria-prima de outra (IDAD, 2007 a).

A Fábrica de Ácido Nítrico utiliza como matéria-prima o amoníaco, ar e água e o seu produto final é utilizado na Fábrica de Mononitrobenzeno (MNB), como agente nitrador do benzeno para produção de MNB. No processo produtivo da Fábrica de Anilina utiliza-se a hidrogenação do MNB e a jusante da fábrica de Anilina produzem-se ainda a ciclohexilamina e o ácido sulfanílico. (IDAD, 2007 a)

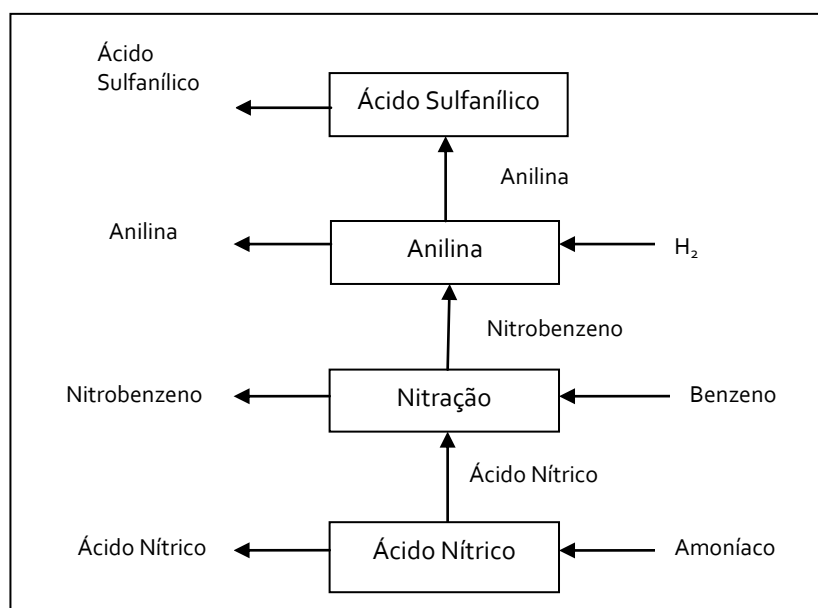


Figura 6.2- Esquema simplificado da produção do sector PAD
Figura adaptada de IDAD, 2007 a

6.1.2.1 Fábrica de Ácido Nítrico

Nesta fábrica ocorre a produção de Ácido Nítrico a 61%, a partir da oxidação do amoníaco e da absorção dos óxidos nitrosos daí resultantes.

Para a produção do ácido nítrico usam-se como matérias-primas o amoníaco evaporado e aquecido a cerca de 60°C, ar atmosférico comprimido à pressão absoluta de 4 kg/cm² e água desmineralizada (IDAD, 2007 a).

6.1.2.2 Fábrica de Nitrobenzeno (MNB)

Esta instalação destina-se à produção de MNB a partir da nitrificação aromática do benzeno pelo processo adiabático. A referida produção desenvolve-se em quatro fases: Nitração, Lavagem do MNB, Purificação do MNB, Reconcentração do Ácido Sulfúrico (IDAD, 2007 a).

1. Nitração

A base deste processo é constituída pela nitração adiabática entre o benzeno e o ácido nítrico (HNO_3), na presença de ácido sulfúrico (H_2SO_4), que funciona como catalisador (IDAD, 2007 a).

2. Lavagem do MNB

Esta operação tem como objectivo retirar ácidos minerais e orgânicos do nitrobenzeno puro, através da neutralização com amónia (Quimigal, 2006 a).

3. Purificação do MNB

Depois da lavagem, o nitrobenzeno é enviado para a fase de purificação, que é essencialmente constituída por uma coluna de *stripping*, onde é removido o excesso de benzeno (IDAD, 2007 a).

4. Reconcentração do Ácido Sulfúrico

O objectivo desta unidade de reconcentrar o Ácido Sulfúrico. Depois de ter absorvido a água de reacção, o ácido sulfúrico diluído é separado do MNB e enviado para os concentradores.

O Ácido Sulfúrico concentrado volta ao tanque de alimentação de Ácido Sulfúrico (IDAD, 2007 a).

A água de reacção após recuperação dos orgânicos numa coluna de "stripping" constitui o efluente desta instalação ("efluente pobre"), que depois de ser neutralizado com soda cáustica é tratado na ETAR e enviado para a SIMRIA (IDAD, 2007 a).

6.1.2.3 Fábrica de Anilina e Recuperação de Ciclohexilamina

Nesta fábrica ocorre a produção de anilina pelo processo de hidrogenação catalítica de nitrobenzeno, em fase líquida, na presença de um catalisador (Quimigal, 2006 a).

6.1.2.4 Fábrica de Ácido Sulfanílico

O Ácido Sulfanílico (AS) é produzido pela reacção entre a Anilina e o Ácido Sulfúrico. Forma-se o Hidrogenosulfato de Anilina que é lentamente convertido em Ácido Sulfanílico. O produto assim formado é designado Ácido Sulfanílico bruto. Posteriormente passa por um processo de purificação para remover algumas impurezas (Quimigal, 2008).

6.1.3 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NA CUF-QI

6.1.3.1 Sistema de captação da água bruta

A água de abastecimento para a CUF-QI provém da rede pública para consumo humano, de uma captação de água superficial no Rio Antuã (Estarreja) para fins industriais e de duas captações de água subterrânea no sistema aquífero Cretácico (Murtosa), com capacidades máximas de 60 m³/h e 40 m³/h. Estes dois poços são usados apenas quando há restrição de captação do rio Antuã, seja por necessidade de manutenção do sistema de captação ou quando o escoamento do rio é reduzido. No conjunto destas três captações, a CUF-QI capta água não só para fornecer às suas próprias instalações produtivas, mas também para vender a outras empresas, nomeadamente, à DOW (que por sua vez vende à Arlíquido), à CIRES e à própria Quimiparque (APA, 2008).

A captação do Rio Antuã é feita através de tubagem com ligação a uma câmara de sucção contígua às instalações de bombagem (Estação Elevatória).

A Estação Elevatória é constituída por cinco conjuntos de electrobombas: três deles para elevação de água até às instalações da CUF-QI, fornecendo um caudal de água médio captado de cerca de 300 m³/h; e dois conjuntos electrobombas destinados à empresa CIRES, com caudal médio de água captado de cerca de 150 m³/h. Parte da água de captação destinada à CUF-QI é enviada à DOW e o restante armazenado no RAF (Reservatório de Água Fresca) é para cobrir necessidades internas e para enviar a clientes menores da Quimiparque.

6.1.3.2 Sistema de tratamento da água bruta

O RAF encontra-se dividido em dois compartimentos, um que é o reservatório de água bruta, com capacidade de 600 m³ e outro que é o reservatório de água tratada com 9300 m³. Anexadas ao RAF existem quatro linhas de filtração instaladas em paralelo, cada uma com dois estágios. A água bruta proveniente do rio e dos poços é recebida no reservatório da água bruta, onde é feita uma pré-oxidação e desinfecção, com doseamento de hipoclorito de sódio.

No tanque de água bruta, a água é aspirada através de três electrobombas e conduzida para a etapa de filtração. A montante dos filtros a água passa por um processo de coagulação, em linha, com o doseamento do coagulante regulado automaticamente em função dos caudais que afluem aos filtros.

Os filtros são lavados com água bruta através de uma fase em contracorrente e outra co-corrente, sendo a lavagem do segundo estágio de filtração efectuada com água pré-filtrada do primeiro.

O sistema de tratamento do efluente da lavagem dos filtros é composto por um decantador, um espessador de lamas e um filtro prensa e envolve processos de separação, espessamento e desidratação dos sólidos. Todos os efluentes gerados pela lavagem dos filtros são reunidos em um único decantador e as lamas sedimentadas são recolhidas num tanque de regularização e posteriormente enviadas para o espessador.

6.1.3.3 Sistema de distribuição de água fresca

Após o tratamento descrito, a água armazenada no RAF- Reservatório de água fresca é distribuída para abastecer necessidades internas da CUF-QI e de clientes da Quimiparque. Na Figura 6.3 pode observar-se um esquema desta distribuição da água.

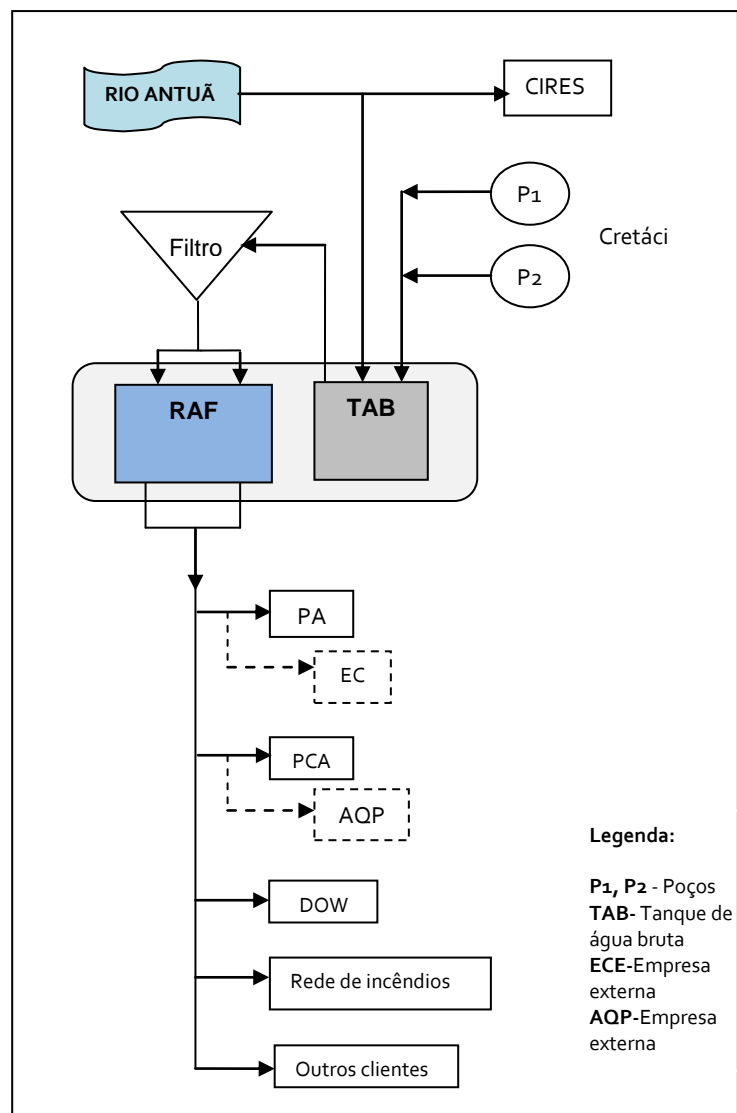


Figura 6.3- Esquema da captação de água e sua distribuição

6.1.4 PROCESSO DE DESMINERALIZAÇÃO

6.1.4.1 Água desmineralizada Cloro- Alcalis:

Através do processo de desmineralização de água é possível remover todos os sais minerais naturalmente presentes nas águas. A água desmineralizada é a mais pura para ser utilizada nos processos químicos industriais.

A desmineralização de água é feita através de colunas de permuta iónica constituídas por resinas catiónicas e aniónicas. A capacidade de permuta das resinas depende da quantidade de sais e sílica presentes na água que será desmineralizada, sendo esta a característica definidora da capacidade das colunas (CUF-QI 2008 b).

Quando as resinas catiónica e aniónica perdem a capacidade de permuta, considera-se que ficam exaustas, e portanto a qualidade da água produzida degrada-se e a condutividade vai aumentando. Para as resinas voltarem a possuir a capacidade de permuta necessitam de ser

regeneradas. As resinas catiónicas são regeneradas com uma solução de HCl e as aniónicas com uma solução de soda cáustica (CUF-QI 2008 b).

A instalação de água desmineralizada é constituída por três linhas em paralelo, cada uma com duas colunas de permuta iónica, uma catiónica e uma aniónica. Estas linhas funcionam em sistema carrossel, ou seja, duas linhas estão em operação e a outra em stand-by. A capacidade de produção de cada linha é cerca de 20 m³/h (IDAD, 2007 b).

Para garantir o bom funcionamento das colunas de permuta iónica a instalação de água desmineralizada possui um pré-tratamento de água bruta constituído por dois filtros multimédia (filtros de areia) e três filtros de carvão. Garante-se, assim, que toda a água alimentada à permuta iónica se encontra livre de sólidos suspensos, de contaminantes orgânicos e de cloro livre (IDAD, 2007 b).

Para o sector de PCA, os parâmetros e os valores requeridos para a água fornecida à entrada dos desmineralizadores são os seguintes (CUF-QI, 2008 b):

Salinidade máxima à entrada (TDS) - 600 – 800 ppm CaCO₃

Turvação máxima - 1 NTU

Ferro + Manganês - 0.2 ppm

Cloro Livre - 0.1 ppm

Matéria orgânica - 5 ppm KMnO₄

No final do processo de desmineralização a água deve apresentar uma condutividade abaixo de 5 µS/cm e um pH entre 7 a 8.5. O valor de Sílica na água desmineralizada depende da quantidade de substâncias na água de entrada, sendo possível atingir valores inferiores a 0,2 ppm (CUF-QI, 2008 b).

6.1.4.2 Água desmineralizada- Anilina e Derivados

No sector de Produção de Anilina e Derivados, a água desmineralizada é fornecida a partir de uma estação de desmineralização com capacidade de 20 m³/h. A desmineralização da água para uso nos processos de fabrico é realizada em duas linhas paralelas, constituídas por colunas de permuta iónica, uma catiónica, uma aniónica e uma mista. No entanto, estas linhas não funcionam ao mesmo tempo, ou seja, enquanto uma produz a outra encontra-se em regeneração. Tal como acontece na desmineralização do sector PCA, a regeneração catiónica é feita com Ácido Sulfúrico e a aniónica com Soda Cáustica (IDAD, 2007 b).

A água desmineralizada do sector PAD, obtida a partir das colunas de regeneração, deverá obedecer aos seguintes parâmetros (CUF- QI, 2009),

pH = 5,0 – 7,5

Condutividade < 10 µS/cm

Sílica < 3,0 ppm

TH (Taxa Hidrométrica) < 1 ppm (CaCO₃)

Cloretos < 1 ppm

6.1.5 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES: PRODUÇÃO DE CLORO-ÁLCALIS (PCA)

Na Produção de Cloro – Álcalis (PCA), os efluentes líquidos industriais são constituídos pelos efluentes resultantes do Tratamento de Salmoura, do Processamento de Hidrogénio, da Liquefacção de Cloro, da Desmineralização de Água, das purgas de torres de refrigeração e das lavagens de pisos de instalações (IDAD, 2007 a).

Actualmente não é feita a caracterização individualizada dos vários efluentes que chegam à ETAR, apenas é feita uma caracterização do efluente global, em que o pH varia entre 2 e 12, o Cloro entre 0 e 4 mg/L, os Cloretos entre 15 e 25 g/L, os Sulfatos entre 1 e 2 g/L e os SST entre 100 e 600 mg/L (IDAD, 2007 a).

O efluente doméstico gerado é encaminhado para uma fossa séptica, o sobrenadante é lançado para uma rede comum juntamente com os efluentes líquidos industriais. A lama sedimentada na fossa séptica é enviada para aterro (IDAD, 2007 a).

6.1.5.1 ETAR do Sector Cloro-Álcalis

A ETAR do sector PCA encontra-se dividida em tratamento primário e secundário.

O tratamento primário consiste na neutralização e descloração do efluente industrial, e na floculação das lamas e seu espessamento. Para que este tratamento possa ocorrer, existem na ETAR (IDAD, 2007 b):

Tanque de equalização que recebe o efluente industrial, e onde este é homogeneizado para impedir a sedimentação dos sólidos em suspensão.

Reactor Turbactor, onde ocorrem, simultaneamente, duas reacções, a de neutralização com correcção de pH, por adição de ácido clorídrico ou soda cáustica, e a descloração, por adição de hipossulfito de sódio, conforme as seguintes reacções:

Filtros de areia e carvão. Depois de sair do reactor turbactor, o efluente passa por um filtro de areia e um filtro de carvão, onde são filtrados os sólidos suspensos e é eliminado o cloro que não foi retirado através da adição de hipossulfito. À entrada de cada filtro existem manómetros para o controlo das operações de lavagem.

Tratamento de lamas. As lamas são descarregadas do decantador, sendo sujeitas a um tratamento de espessamento, através de um espessador mecânico, onde irão reduzir o seu volume.

O tratamento secundário da ETAR da secção de Produção de Cloro – Álcalis funciona como afinamento do tratamento primário. Este tratamento, esquematizado na Figura 6.4, é composto por dois filtros, um de areia e outro de carvão, e por uma cuba com pedras calcárias. Cada filtro possui à entrada um manómetro. Também é importante referir que os filtros devem ser lavados sempre que a diferença de pressão é alta e quando o caudal de saída da instalação diminui pela colmatagem dos filtros (IDAD, 2007 a).

O efluente final da CUF-QI é enviado para uma “ fossa de bombagem” construída em betão armado e revestida na sua totalidade com resinas reforçadas com fibras de vidro (IDAD, 2007 a).

Nesta fossa de bombagem existem 2 bombas submersíveis que enviam o efluente para a SIMRIA.

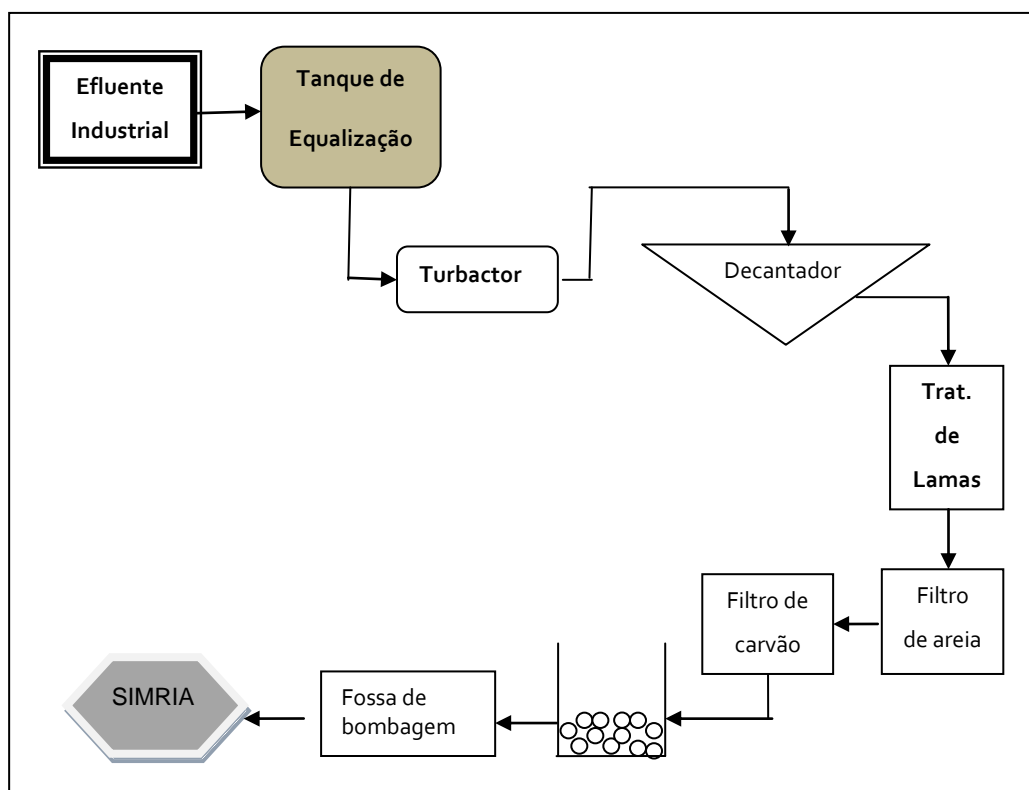


Figura 6.4 – Representação da ETAR do sector PCA

6.1.6 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES: PRODUÇÃO DE ANILINA E DERIVADOS (PAD)

Os efluentes líquidos industriais do sector PAD, que são encaminhados para a ETAR, provêm das várias fábricas e resultam de diversas formas, podendo ser considerados orgânicos e inorgânicos (IDAD, 2007 a).

Os efluentes orgânicos são os que resultam da Fábrica de Anilina e os da Fábrica de Ácido Sulfanílico. Os efluentes resultantes dos derrames da Fábrica de Anilina são decorrentes das purgas e de derrames ocasionais devido a falhas de equipamentos e os efluentes que provêm da Fábrica de Ácido Sulfanílico derivam das purgas e derrames ocasionais de equipamentos e purgas de vapor (IDAD, 2007 a).

Os efluentes inorgânicos são os que resultam da Fábrica de MNB, Fábrica do Ácido Nítrico, desmineralização da água e torres de refrigeração (IDAD, 2007 a).

Os efluentes que resultam de derrames da Fábrica de Ácido Nítrico são decorrentes de arranques falhados da instalação e perda de enchimentos. O efluente da Fábrica de MNB é a água de processo resultante da reacção entre o Benzeno e o Ácido Nítrico. O efluente resultante da Desmineralização de Água é composto por águas de regeneração das colunas

de desmineralização e por NaOH e H₂SO₄. Nas torres de refrigeração, o efluente é composto pela água residual que sai nas purgas (IDAD, 2007 a).

6.1.6.1 ETARI do Sector de Anilina e Derivados:

A CUF – QI na secção de Produção de Anilina e Derivados possui uma ETARI, esquematizada em baixo na Figura 6.5, com dois conjuntos de leitos construídos de macrófitas, que permitem realizar o tratamento de fim de linha dos efluentes líquidos provenientes das Fábricas de Ácido Nítrico, MNB, Anilina e Ácido Sulfanílico, da zona de tratamento de efluentes e da armazenagem intermédia (IDAD, 2007 b).

Os leitos de macrófitas existentes são de dois tipos, de acordo com o efluente a tratar.

Existem 4 leitos para o tratamento de efluentes com compostos orgânicos (Anilina, MNB e Ácido Sulfanílico) e outros 2 para desnitrificar os efluentes inorgânicos provenientes das Fábricas de Ácido Nítrico e de MNB (IDAD, 2007 b).

O tratamento através do leito de macrófitas, tal como qualquer outro tratamento biológico, consiste em promover o crescimento de microrganismos que utilizam no seu metabolismo os compostos a eliminar, transformando-os noutros, menos nocivos ao meio hídrico receptor (IDAD, 2007 b).

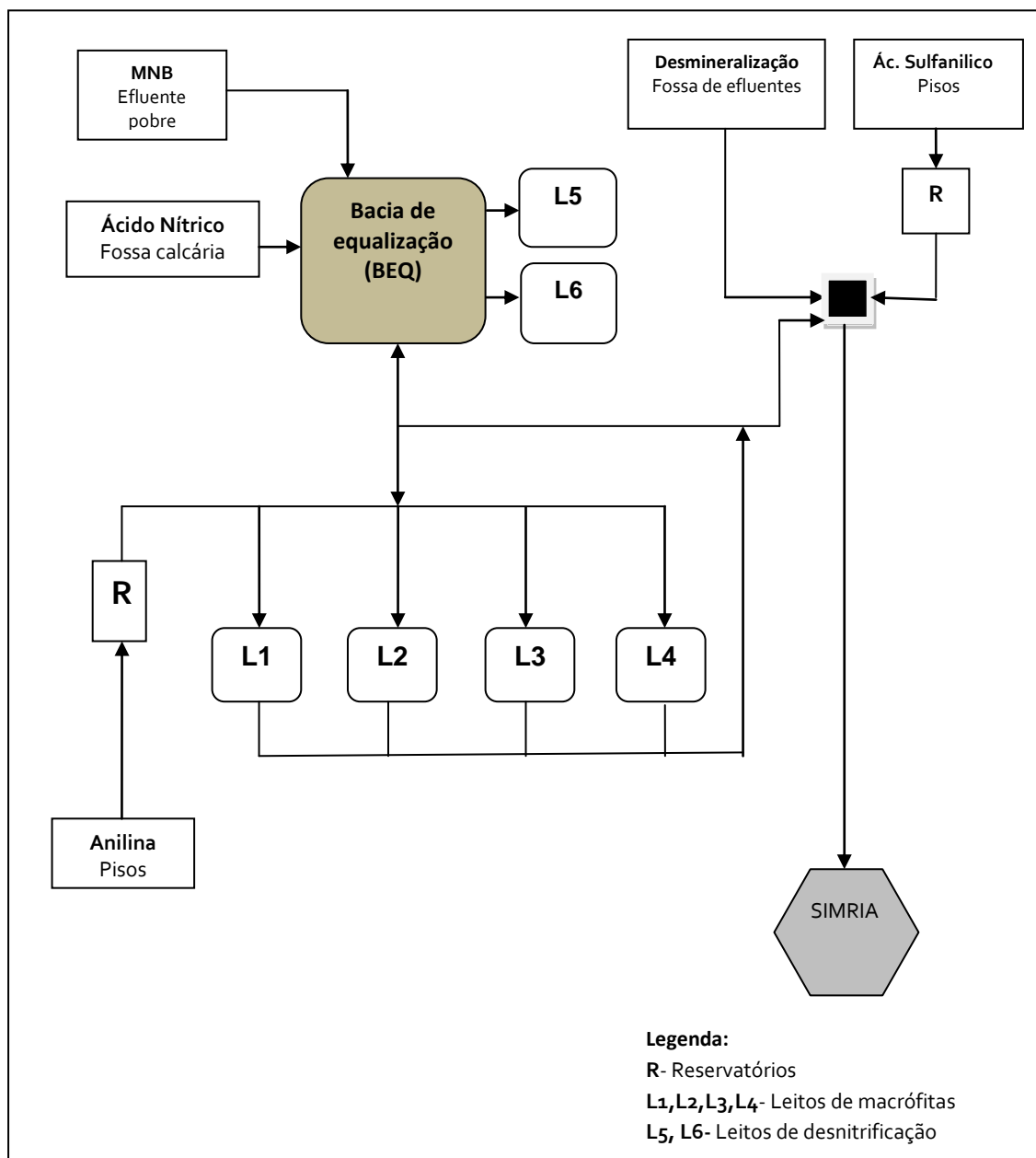
Os efluentes provenientes de derrames da Fábrica de Anilina são encaminhados para um reservatório, onde posteriormente seguem para tratamento biológico em leitos de macrófitas para eliminação de compostos orgânicos. Os efluentes provenientes da Fábrica de Ácido Sulfanílico são também encaminhados para um reservatório, sendo neutralizados e, dependendo das suas características poderão ser enviados directamente para o efluente final, ou encaminhados para tratamento nos leitos de macrófitas para eliminação de compostos orgânicos (IDAD, 2007 b).

O efluente inorgânico que provém da Fábrica de MNB é enviado, após neutralização, para uma bacia de equalização (BEQ). Em seguida é encaminhado para tratamento biológico em leitos de macrófitas de desnitrificação (IDAD, 2007 b).

O efluente inorgânico que provém Fábrica de Ácido Nítrico é recolhido na “Fossa do Calcário”, onde é corrigido o pH recorrendo a calcário que é colocado na fossa de modo a que o nível de líquido nunca cubra totalmente o sólido. O envio para a BEQ é automático em função do nível da fossa, por bombagem. Em seguida é encaminhado para tratamento biológico em leitos de macrófitas de desnitrificação (IDAD, 2007 b).

Existe ainda um efluente resultante da regeneração das resinas de permuta iónica de desmineralização de água que é enviado para uma fossa onde é neutralizado e depois é enviado à ETARI (IDAD, 2007 b).

Depois de todos efluentes serem recolhidos em conjunto numa caixa final, são bombeados para a SIMRIA com ajuda de três bombas submersíveis. Nesta operação existe monitorização de em linha que, no caso de o efluente atingir valores fora da gama de especificação (5,0 a 9,0), acciona um jogo de válvulas, fazendo retornar o efluente à ETARI para correcção (IDAD, 2007 b).



outro equipamento que provoca o seu arrefecimento, designado de torre de refrigeração (Cortinovis, 2006).

As torres de refrigeração podem ser de várias concepções, consoante o processo de contacto do ar com a água e o processo de impulsão de ar pela torre, conforme os materiais de construção, etc (Correia, 2001).

No caso da CUF-QI usam-se torres de refrigeração de água que são constituídas por um sistema que tem um circuito semi-aberto, tal como mostra na Figura 6.6, com recirculação de água. Além desta característica, as torres presentes na fábrica também possuem circulação de ar forçada. Neste tipo de equipamentos é utilizado um ventilador que pode ficar situado na base, ou nos lados da torre, de forma a forçar o ar a entrar horizontalmente e fazer com que o ar suba até encontrar as gotículas descendentes de água. Ou seja, a água quente é conduzida à torre de refrigeração entrando pelo topo e onde é pulverizada sobre um volume tipo rede tridimensional, onde a água cai em contra corrente com o ar que é forçado pelo ventilador. A corrente de ar conduz à vaporização de parte de água quente, o que origina um arrefecimento da água líquida que cai para um tanque. Deste tanque, a água é bombeada de novo para a fonte a arrefecer (Mancuso, 2001).

O uso da água nas torres de refrigeração constitui uma fonte significativa de problemas ambientais, dada a magnitude do volume captado, às perdas por evaporação e arrastamento e também devido aos efluentes que são gerados.

O sistema de refrigeração apresenta um consumo de água considerável, pois como foi dito alguma da água que é captada evapora e perde-se por arrastamento, necessitando de uma reposição de água. Além disso, devido às perdas por evaporação e arrastamento, alguns sais presentes naturalmente na água, aumentam as suas concentrações na água de circulação, até alcançar o seu limite de solubilidade. A partir daí, começam a ocorrer incrustações, que diminuem a eficiência da troca de calor. Para evitar estas incrustações, parte da água de circulação deve ser purgada de forma a regular a concentração de sais na água. (ProMinent,2006).

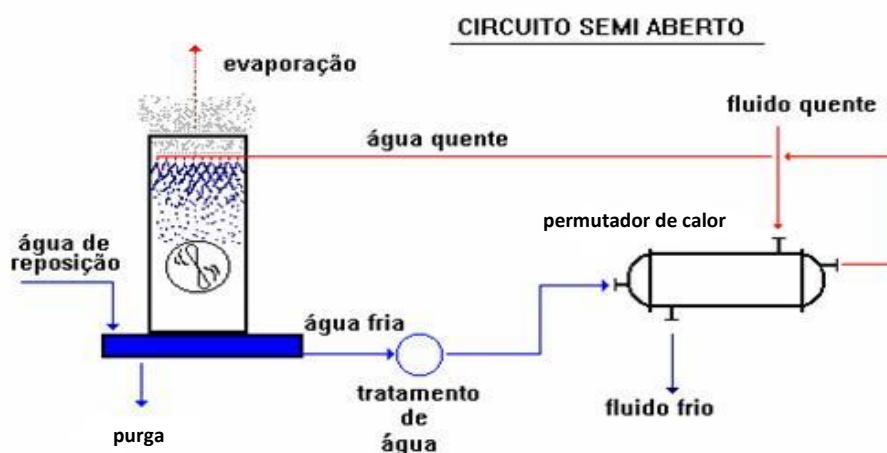


Figura 6.6 - Exemplo do funcionamento de um sistema em circuitos semi abertos, com recirculação de água
Figura adaptada de Mancuso, 2001

As incrustações mais comuns, cuja ocorrência depende também das características da água, são aquelas em que os seus principais constituintes são cálcio, magnésio, sulfatos, alcalinidade, fosfato, sílica e flúor. Todos os componentes que conduzem a uma potencial formação de incrustações e corrosões devem ser avaliados e controlados por um tratamento químico, técnicas de monitorização das taxas de corrosão e incrustação, para além das técnicas de medição da vida biológica. O controlo de corrosão nestes sistemas pode ser efectuado por vários inibidores, que geralmente se utilizam em conjunto, de forma a melhorar o seu efeito. Dos inibidores de corrosão pode-se destacar o zinco, o ortofosfato e polifosfato, os nitritos, vários compostos orgânicos azotados, silicatos, vários compostos organofosforosos (fosfonatos), polímeros sintéticos, ácidos carboxílicos, etc. (EPA, 1992).

Para estabelecer o controlo analítico, os compostos e as dosagens adequadas a um bom equilíbrio químico da água de circulação é necessário o estudo de um correcto programa de tratamento de águas (EPA, 1992).

No sector PCA existem cinco torres de refrigeração, das quais quatro mais antigas e com menor dimensão e uma outra mais recente e de maior dimensão.

O refrigerante 1 é o que corresponde às necessidades dos transformadores/Rectificadores: *Electrólise de HCl* e Instalação de Energia de Socorro;

O refrigerante 2 satisfaz as necessidades dos compressores de cloro, quatro frigoríficos e vários arrefecedores;

O refrigerante 3 corresponde ao Ácido de Absorção, Ácido de Síntese, Absorção de Emergência, um frigorífico e vários arrefecedores.

Ao refrigerante 4 compete satisfazer as necessidades da Electrólise AGC, Processamento de Hidrogénio AGC, Processamento e Concentração de Soda, Liquefacção de Cloro.

O refrigerante 5 corresponde a grandes unidades tais como o Processamento H₂, Instalação de Hipoclorito de Sódio, Absorção de HCl, Síntese de HCl.

No sector PAD existem três torres de refrigeração, uma correspondente às instalações do Ácido Nítrico, outra correspondente às instalações do MNB e uma relativa às instalações da Anilina. Qualquer uma destas torres consome um volume considerável de água. No entanto, neste sector já se verifica algumas formas de reutilização de água, uma vez que a água da purga da Torre do Nítrico serve de água de alimentação para a Torre do MNB.

6.1.7.2 Geradores de Vapor

No sector PAD da CUF-QI existem quatro Geradores de Vapor, também designadas por "caldeiras". Três destes Geradores de Vapor estão localizados nas Instalações do Ácido Nítrico e são denominados de Babcock 1, Babcock 2 e Termec. Estas caldeiras são do tipo aquotubular (água dentro dos tubos e gases quentes no exterior dos tubos). A restante caldeira é a chamada Caldeira da ECE e é um Gerador de Vapor com Recuperação de Calor (HRSG) (CUF-QI, 2006 b).

Todos os geradores de vapor são alimentados com água desgasada (com redução do teor em oxigénio livre), proveniente do desgasificador por vapor da instalação de produção de vapor, através de bombas com uma pressão de cerca de 30 Kg/cm² (CUF-QI, 2006 b).

A água de alimentação das caldeiras deverá obedecer aos seguintes parâmetros (CUF-QI, 2006 b):

pH = 8,3 -10,5

TH < 1 ppm CaCO_3

Condutividade < 2000 $\mu\text{S/cm}$

Ferro Total < 0,5 ppm

Os parâmetros de controlo do processo de Produção de Vapor deverão obedecer aos seguintes valores (CUF-QI, 2009):

Água da Caldeira:

pH = 10,5 – 12

Condutividade < 2000 $\mu\text{S/cm}$

Alcalinidade Total < 850 ppm (CaCO_3)

Condensados do Vapor produzido:

pH= 10,5 – 12

DEHA (2 x /semana) = 0,04 – 0,10 ppm

Ferro Total < 0,1 ppm

Durante o funcionamento dos Geradores de Vapor a pressão deve ser mantida o mais constante possível, o nível de água também deve ser mantido constante, sem ultrapassar o valor máximo nem descer abaixo do valor mínimo e devem ser realizadas purgas para tirar da água do gerador de vapor as impurezas que com o tempo se vão acumulando no seu interior (CUF-QI, 2006 b).

No caso das caldeiras Babcock e da Termec existem alguns tipos de purgas, sendo as principais, a purga de fundo, a purga de superfície, a purga dos níveis e a purga do manómetro (CUF-QI, 2006 b).

Por cada turno de trabalho, o operador responsável deve purgar o gerador de vapor, pela válvula de fundo estando sempre atento ao nível da respectiva caldeira. Esta purga retira da água as impurezas que são mais pesadas e se depositam no fundo do gerador. A purga de superfície serve para retirar as impurezas mais leves que ficam à superfície. A purga dos níveis deve-se efectuar sempre que o se inicia um turno de trabalho independentemente das verificações que devem realizar ao longo do respectivo turno. A purga do manómetro tem por fim limpar de impurezas do sifão e evitar que haja entupimento da tubagem (CUF-QI, 2006 b).

No caso da caldeira da ECE as purgas podem ser contínuas ou de fundo da caldeira. A purga superficial contínua visa a manutenção do controlo de sólidos dissolvidos na água do gerador de vapor e a purga de fundo remove sólidos em suspensão e lamas (CUF-QI, 2006 b).

Tal como nas torres de refrigeração, também as torres estão sujeitas a incrustações e corrosões.

As incrustações são originadas pelo aumento de concentração de sais e outras substâncias dissolvidas e/ou suspensas na água. Ao atingirem o ponto de saturação, substâncias como sais de cálcio e magnésio – dureza – e sílica precipitam, formando um agregado muito duro e aderente nas superfícies de troca térmica das caldeiras. Como consequência pode ocorrer a diminuição da transferência de calor, aumento no consumo de combustível e queda na produção de vapor, podendo até mesmo causar o rompimento de tubulações devido ao aquecimento (ÁguaCiclo, 2001).

Para minimizar os problemas com incrustações, além do uso de água com boa qualidade e das purgas, é conveniente proceder-se a um tratamento químico das águas. Este tratamento pode ser feito através da dosagem de dispersantes de sais e iões metálicos, principalmente cálcio e magnésio (ÁguaCiclo, 2001).

A corrosão em caldeiras é geralmente causada pela presença de gases dissolvidos (principalmente o oxigénio) e da sua reacção com o ferro presente no aço do equipamento. Uma medida preventiva para a corrosão pode ser através da adição de hidrazina, que é um sequestrador de oxigénio (ÁguaCiclo, 2001).

6.2 DIAGRAMAS DOS FLUXOS DE ÁGUA

6.2.1 *DIAGRAMA DOS FLUXOS DE ÁGUA DO SECTOR PCA*

Depois da caracterização de todas as instalações é possível apresentar um fluxograma, representado na Figura 6.7, onde é possível visualizar todas as entradas de água bruta e saídas de efluente.

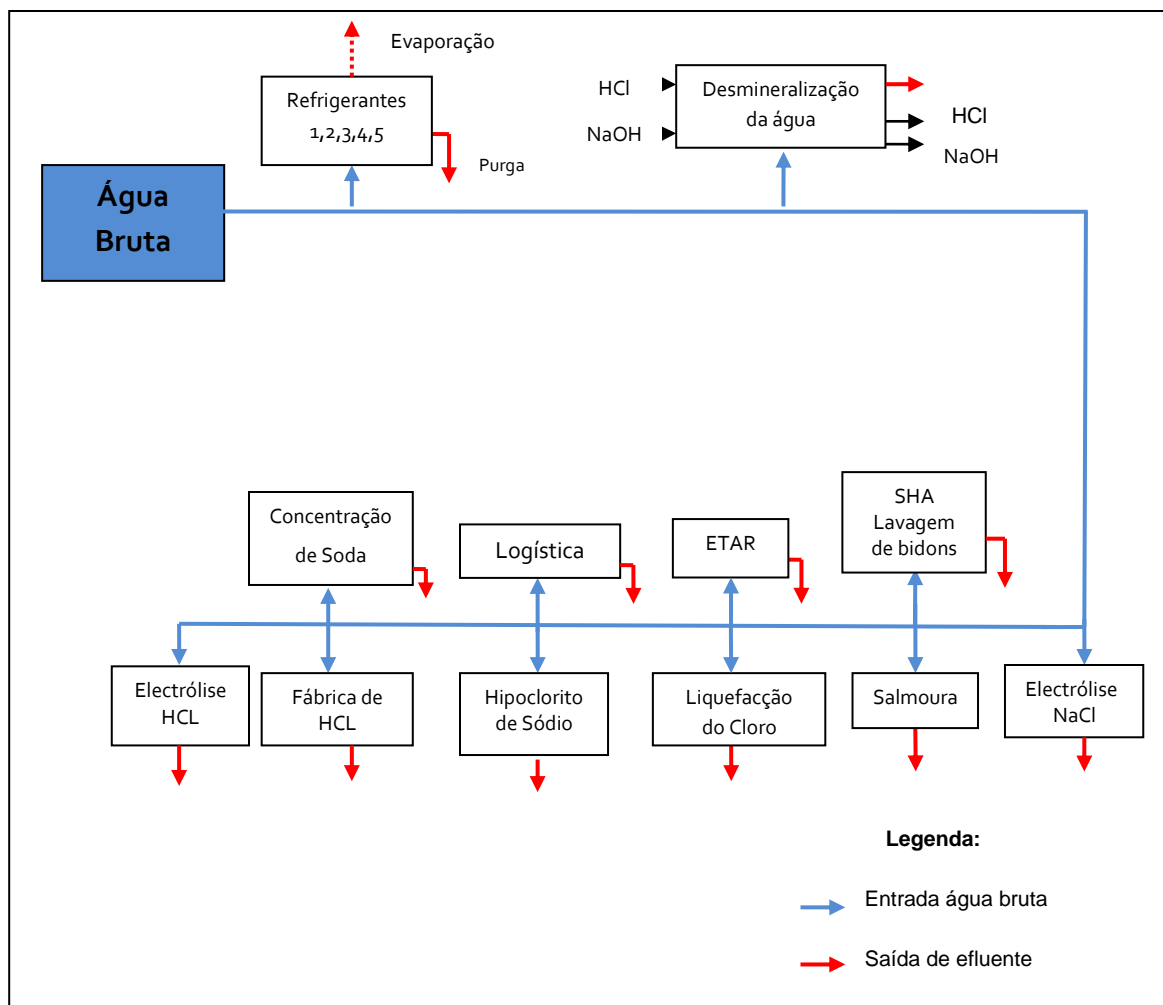


Figura 6.7- Esquema representativo das entradas de água bruta e saídas de efluente no Sector PCA.

Além do uso de água bruta, existem processos que utilizam água desmineralizada. O esquema da Figura 6.8 representa a entrada de água desmineralizada nos processos e a saída de efluente.

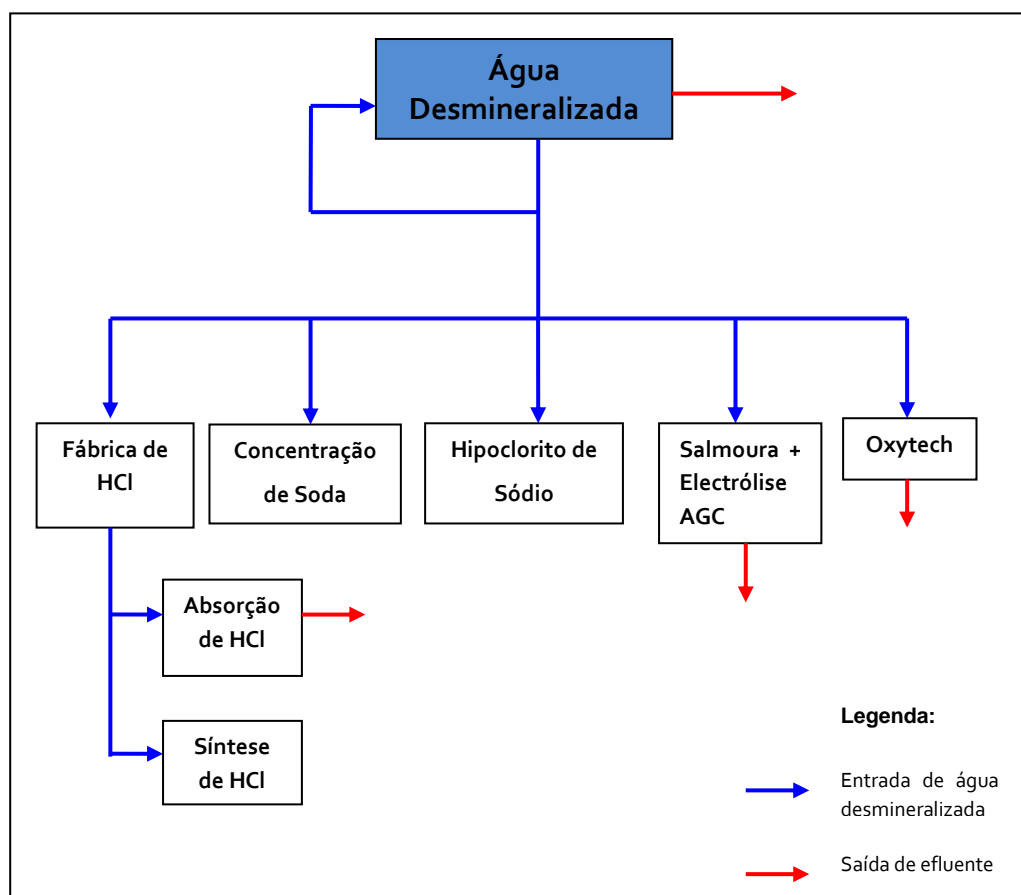


Figura 6.8- Esquema representativo da entrada de água desmineralizada nos processos e a saída de efluente

De forma a explicitar as entradas de água bruta e água desmineralizada, bem como os respectivos efluentes, será seguidamente descrito onde é utilizada a água que entra em cada processo e de onde resulta cada efluente.

➤ Torres de refrigeração

A água bruta que entra para as torres corresponde à água necessária para reposição devido às perdas por evaporação e às purgas. O efluente é constituído pela água que sai nas referidas purgas.

➤ Desmineralização da água

No caso da desmineralização da água entra água bruta para ser transformada em água desmineralizada. No entanto, alguma da água bruta que entra é para a regeneração das colunas de permuta iónica e para a lavagem dos filtros, resultando desta lavagem, o efluente desta instalação.

Além de água bruta, também é usada água desmineralizada na regeneração das colunas, HCl e NaOH em alguns passos da regeneração das colunas da permuta iónica. A água desmineralizada usada vai sair como efluente, juntamente com água bruta, HCl e NaOH.

➤ **Concentração de Soda**

A água bruta usada na Instalação de Concentração de Soda é apenas usada para a lavagem de pisos, e o efluente gerado provém desta operação.

A água desmineralizada nesta instalação é usada no sistema de Água de Fecho. A água desmineralizada é usada no fecho para as bombas de soda. O caudal de água necessário para as bombas é indicado e ajustado localmente.

➤ **Liquefacção do Cloro**

No processo de Liquefacção do Cloro existe uma fase de arrefecimento de permutadores de calor. Esse arrefecimento é feito através de uns chuveiros que se encontram continuamente ligados e a deitar água bruta sobre os referidos equipamentos. O consumo de água bruta corresponde à água usada para o arrefecimento dos equipamentos. Neste processo, o volume de água consumida é praticamente igual ao volume de efluente gerado, uma vez que a água cai sobre os equipamentos e escorre imediatamente para a rede de efluentes.

Além do arrefecimento dos permutadores, a água bruta nesta instalação também é usada na Compensação da Água Gelada e para a lavagem do piso, gerando também daqui efluente.

➤ **SHA e Lavagem de Bidons**

O consumo de água bruta nesta instalação é para a lavagem de garrafas e tambores de Cloro. O efluente gerado nesta instalação provém desta lavagem.

➤ **Electrólise de NaCl**

Nesta instalação ocorre produção de Soda Caustica e Hidrogénio. No entanto, alguma desta soda cáustica recircula no cátodo, e para controlar a concentração desta, é adicionada água desmineralizada.

O hidrogénio gasoso produzido é enviado para a Secção de Processamento de Hidrogénio, que pertence à Instalação da Eléctrolise de NaCl. Nesta secção existe um Fecho de Pressão do Hidrogénio Gasoso que é colocado na tubagem principal do hidrogénio gasoso para proteger os electrolisadores dos desvios anormais de pressão. No entanto, há perdas de água neste fecho, mas para garantir o seu bom funcionamento, tem de ter um certo nível de água. De forma a garantir que o fecho tem sempre o nível de água pretendido, ocorre uma reposição de água.

O hidrogénio produzido sai da electrólise à temperatura de 90 °C e saturado em vapor de água, pelo que antes de ser comprimido deve ser arrefecido e o vapor condensado. Assim o hidrogénio passa por um permutador de calor tubular onde é arrefecido, com água

refrigerada, para uma temperatura inferior a 40 °C. Os condensados são purgados para a rede de efluente industrial, por não poderem ser reaproveitados no processo.

O efluente desta instalação resulta não só da condensação da água que ocorre quando o Hidrogénio é arrefecido, mas também do fecho referido e da lavagem dos pisos onde é utilizada também água bruta.

➤ **Electrólise HCl**

Nesta instalação ocorre a produção de Cloro e Hidrogénio por electrólise, com células de diafragma.

Neste caso, o hidrogénio produzido também é enviado para a Secção de Processamento de Hidrogénio.

Tal como no caso anterior, da electrólise de NaCl, a água bruta gasta neste processo corresponde à água que é necessária para enchimento do fecho de água e para a lavagem do piso. A água que se perde neste fecho e os condensados e a água proveniente da lavagem dos pisos constituem o efluente desta instalação.

➤ **Salmoura**

A Salmoura saturada necessita de filtração. A água bruta usada nesta secção é para lavagem dos filtros e da instalação. O efluente gerado é o respeitante a essas lavagens.

A água desmineralizada é usada para a diluição da Salmoura, regeneração das resinas e para a diluição da soda de recirculação. O efluente gerado à água residual que resulta da regeneração das resinas.

➤ **Fábrica de HCl**

A Fábrica de HCL é composta por uma Unidade de Síntese de HCl e Absorção de HCl.

Na Unidade de Síntese de HCl ocorre a produção de HCl a partir de cloro e hidrogénio, mas não se encontra em funcionamento. Esta unidade opera apenas quando, por alguma razão, a DOW não pode enviar à CUF-QI Ácido Clorídrico.

Na Unidade de Absorção de HCl ocorre a produção de Ácido Clorídrico@100% a partir de HCl gasoso (gás clorídrico) absorvido em água desmineralizada e HCl@17% proveniente da electrólise de HCl.

Esta unidade possui uns filtros de carvão activado para remover os vestígios de matéria orgânica que são adsorvidos pelo meio filtrante. No entanto, estes filtros actualmente não se encontram a funcionar uma vez que, segundo a equipa responsável pelo processo, não há concentração suficiente de orgânicos para ser necessária a filtração.

A água bruta usada neste processo serve para a lavagem desses filtros, quando se encontram em funcionamento e para a lavagem dos pisos.

A água desmineralizada é usada para absorção do gás clorídrico e para arrefecimento do ácido.

Esta unidade possui um efluente contínuo constituído por condensados e pela água que é adicionada para arrefecimento.

Quando os filtros e o piso da instalação são lavados, gera-se um efluente resultante desta lavagem.

➤ **ETAR**

A água bruta usada na ETAR serve para a lavagem de filtros de areia e de carvão presentes na instalação, que tem como função filtrar os sólidos suspensos e eliminar o Cloro presentes no efluente, e também para a operação de descloração do efluente, por adição de Hipossulfito de Sódio.

O efluente que resulta desta instalação é constituído pela água residual que sai dos filtros, após a lavagem.

➤ **Logística**

Ao longo da fábrica existem rampas de carga, onde os clientes carregam os produtos. Estas rampas de carga correspondem à armazenagem de Hipoclorito de Sódio, Cloro, Soda Cáustica e Ácido Clorídrico. Nestas armazenagens os clientes carregam os produtos e no final do carregamento procedem a uma lavagem do veículo que transporta o produto. A água bruta gasta nesta secção de Logística serve para essa lavagem em que resulta também efluente.

➤ **Hipoclorito de Sódio**

Nas instalações de Hipoclorito de Sódio é usada água bruta para a lavagem do piso e água desmineralizada para a diluição da Soda Cáustica. O efluente resulta da lavagem do piso.

6.2.2 DIAGRAMAS DOS FLUXOS DE ÁGUA DO SECTOR PAD

Com a caracterização de todos os processos que ocorrem na Produção de Anilina e Derivados é possível identificar todas as entradas de água bruta e água desmineralizada, bem como as saídas de efluente.

Nos fluxogramas das Figuras 6.9 e 6.10 estão representadas essas mesmas correntes de entrada e saída.

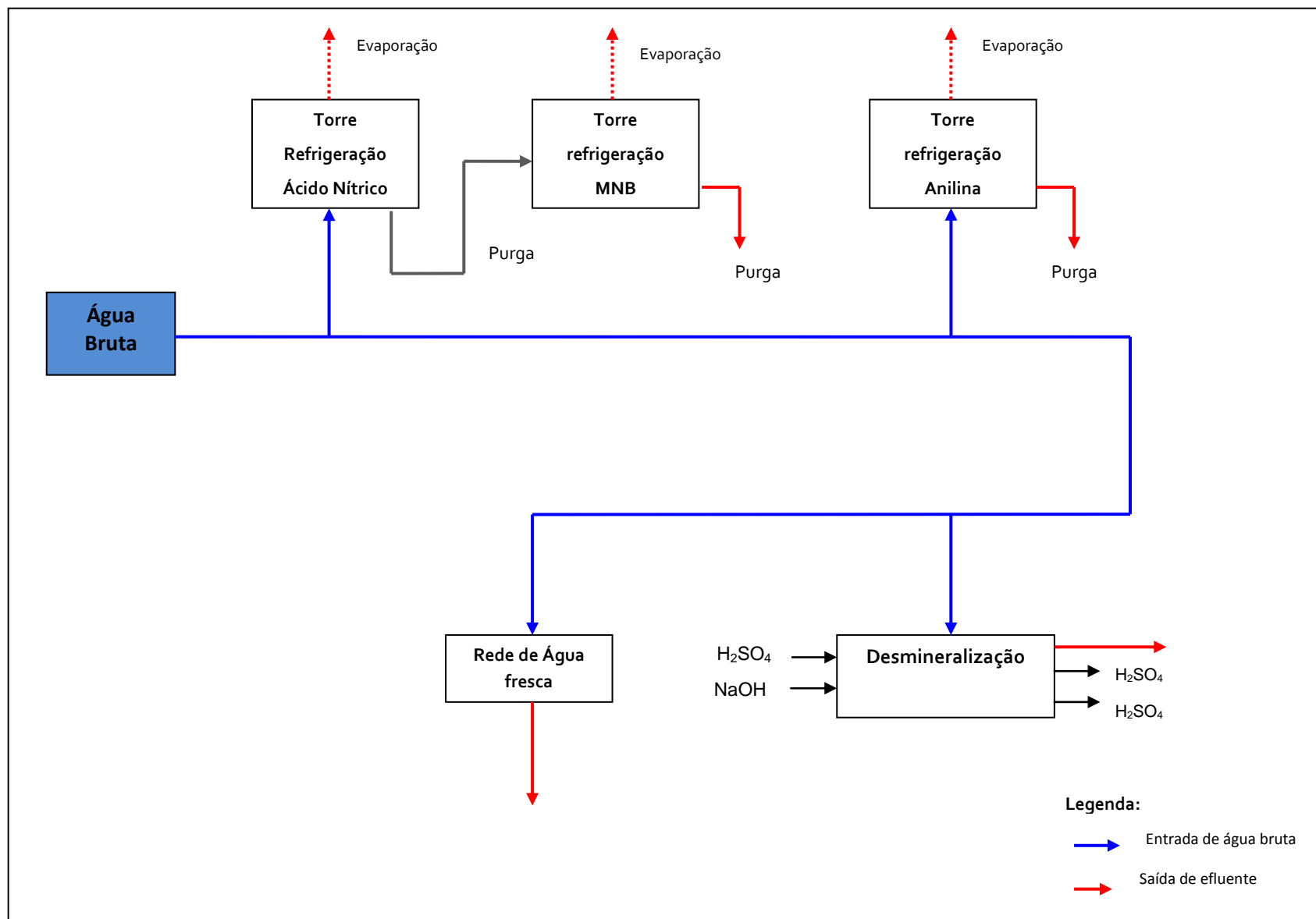


Figura 6.9 – Esquema representativo da entrada e saída de água bruta no sector PAD.

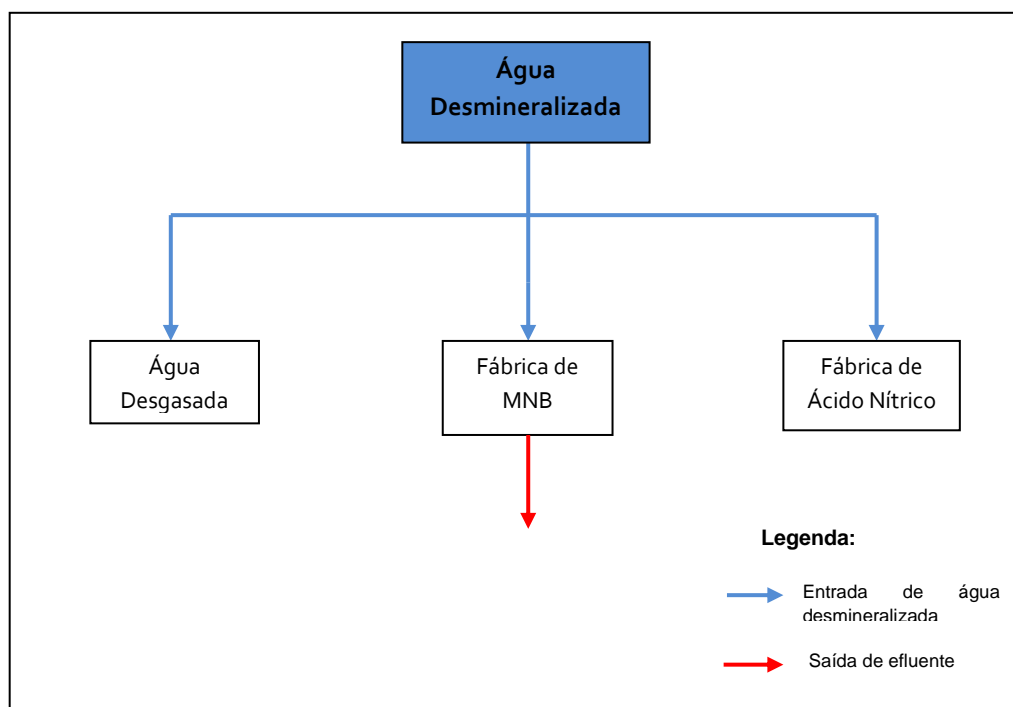


Figura 6.10- Esquema representativo das entradas de água desmineralizada nos processos PAD

De forma a explicitar as entradas de água bruta e água desmineralizada, bem como os respectivos efluentes, será seguidamente descrito onde é utilizada a água que entra em cada processo e de onde resulta cada efluente.

➤ Torres de refrigeração

A água bruta que entra para as torres corresponde à água necessária para reposição devido às perdas por evaporação e às purgas. O efluente é constituído pela água que sai nas referidas purgas.

➤ Desmineralização

No caso da desmineralização da água entra água bruta para ser transformada em água desmineralizada. No entanto, alguma da água bruta que entra, juntamente com H_2SO_4 e $NaOH$, é para a regeneração das colunas de permuta iónica. O efluente desta instalação é constituído pela água residual que sai das colunas de permuta iónica depois da regeneração.

➤ Rede de água fresca

A água que entra na rede de água fresca serve para lavagem dos pisos das instalações. O efluente provém desta lavagem. Geralmente este efluente tem contaminantes, porque além da água da lavagem, é constituído também por compostos que resultam de derrames que pode ocorrer nos equipamentos das fábricas.

➤ **Água Desgasada**

Todos os geradores de vapor são alimentados com água desgasada (com redução do teor em oxigénio livre), portanto a água desmineralizada é usada para a produção de água desgasada que depois servirá para alimentação das caldeiras.

➤ **Fábrica de Ácido Nítrico**

A água desmineralizada que entra na Fábrica de Ácido Nítrico serve para incorporação do produto, ou seja, serve de matéria-prima para a produção do Ácido Nítrico.

➤ **Fábrica de MNB**

A água desmineralizada é usada no processo de centrifugação, que pertence à fase de purificação e que serve para remover a água residual.

O efluente desta instalação é chamado de "efluente pobre" e tem características bastante ácidas. É gerado na fase de reacção (nitração adiabática) entre o benzeno e o ácido nítrico, na presença de excesso de ácido sulfúrico.

6.3 QUANTIDADE E QUALIDADE: RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO - SECTOR PCA

Após a quantificação mais geral de todos os inputs de água que são relevantes ao objecto de estudo, foi necessário, como se disse anteriormente, afinar o estudo e identificar correntes de efluentes com potencial interesse de reutilização.

A escolha de quais as correntes de água de alimentação e de água residual que poderão ter interesse no âmbito deste trabalho tem que ser feita através destes critérios:

- Disponibilidade que existe em obter os dados qualitativos e quantitativos das águas de alimentação e efluentes;
- Considerar os processos que consomem valores excessivos de água e geram igualmente grandes volumes de água;
- Considerar os processos que geram efluente, mas que seja composto por concentrações reduzidas de poluentes.

Seguindo estes critérios, as áreas no sector PCA, que foram definidas como áreas de interesse no âmbito deste trabalho e em que foi possível realizar o estudo foram:

- Desmineralização da água;
- Torres de refrigeração;
- Instalação de Liquefacção do Cloro;
- Instalação de Absorção de HCl;
- Electrólises- Instalação de processamento de H₂;
- Lavagem de recipientes de Cloro.

De todas as áreas do sector PCA, apenas as descritas anteriormente foram alvo de análise. Pode-se destacar a Instalação de Concentração de Soda, Instalação de Hipoclorito de Sódio, que possuem um volume pequeno de consumo de água e de geração de efluente e que além deste facto possuem também uma certa dificuldade na recolha de amostra de efluente para analisar e então por estas razões não foram consideradas viáveis de estudar neste trabalho.

A Salmoura possui uma etapa de lavagem de filtros que além de consumir muita água, também gera grande quantidade de efluente, no entanto esta lavagem não ocorre em dia pré-definido e nunca foi possível a observar uma destas lavagens para que fosse possível recolher amostras de efluente.

A ETAR e Absorção de HCl também possuem uma lavagem de filtros que gera efluente. No entanto, no caso da ETAR, esta lavagem é feita poucas vezes ao longo do ano, e no caso da Absorção de HCl, os filtros não se encontram em funcionamento. Estes factos fizeram com que não fossem definidos como casos de interesse para estudo.

A secção da Logística consome algum volume de água e gera efluente, no entanto a recolha de amostras de efluente é de difícil concretização, uma vez que este efluente corresponde às lavagens dos camiões. Estas lavagens não são feitas continuamente e nem se pode estimar quantas lavagens são feitas por dia. Além disto o efluente escorre para o piso, o que dificulta a recolha de amostras. De forma a quantificar a água gasta na Secção da Logística, seria necessária a instalação de contadores em todas as rampas de carga.

De forma a simplificar a exposição da metodologia aplicada serão seguidamente descritas todas as acções realizadas por cada área da fábrica que foi alvo de estudo, bem como os resultados obtidos e a respectiva discussão.

Antes da apresentação dos resultados e da sua discussão convém referir quais as características da água bruta e da água desmineralizada na CUF-QI e que se encontram na Tabela 6.1.

Tabela 6-1- Características da água bruta e da água desmineralizada

Características água bruta:		Características água desmineralizada:	
Alcalinidade =	30 ppm CaCO_3	pH =	7 – 8,5
Cloretos =	70 mg/L	Condutividade	< 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Fe Total =	0,3 mg/L	SiO_2	< 0,2 ppm
Mg =	4 mg/L		
Ca =	16 mg/L		
Condutividade =	350 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
pH=	7		
SiO_2 =	9 mg/L		

➤ Água desmineralizada

A instalação de água desmineralizada é constituída por três linhas em paralelo, cada uma com duas colunas de permuta iônica, uma catiônica e uma aniônica. Quando as resinas (catiônica e aniônica) se encontram exaustas, a qualidade da água fica comprometida e é então necessário proceder à regeneração das colunas.

A Figura 6.11 mostra os desmineralizadores com a designação de A2S1 e A2S2. A sua regeneração é feita da seguinte forma: durante 30 minutos é adicionado HCl nas resinas catiônicas, depois esta coluna é lavada durante 40 minutos com água, seguindo-se uma lavagem rápida de 30 minutos, com água desmineralizada.

Relativamente à coluna aniônica, a regeneração é feita adicionando soda cáustica durante 30 minutos, depois esta mesma coluna é lavada durante 40 minutos com água bruta, seguindo-se uma lavagem rápida de 30 minutos, com água desmineralizada.



Figura 6.11- Imagem do desmineralizador A2S1

Na Figura 6.12 está apresentada uma imagem do desmineralizador com a designação de NRC80. Neste desmineralizador a regeneração é feita adicionando, ao mesmo tempo, HCl à coluna catiônica e soda cáustica à coluna aniônica. Este procedimento tem a duração de 30

minutos. De seguida ocorre uma lavagem com água bruta, durante 40 minutos. Para finalizar, tal como no A2S1 e A2S2, ocorre uma lavagem rápida, durante 30 minutos, com água desmineralizada.



Figura 6.12- Imagem do desmineralizador NRC80

Ao longo destas regenerações é consumida uma quantidade bastante significativa de água, e consequentemente gera-se um grande volume de efluente, uma vez que este é praticamente igual ao volume de água consumida. Então, um vez que no processo de regeneração existe uma quantidade elevada de efluente, decidiu-se considerar este tipo de água residual uma boa hipótese de estudo para averiguar se possui qualidade suficiente para ser reaproveitada.

A instalação de água desmineralizada possui também um pré-tratamento de água bruta constituído por dois filtros multimédia e três filtros de carvão, que servem para garantir o bom funcionamento das colunas de permuta iónica. Desta forma assegura-se que toda a água alimentada à permuta iónica se encontra livre de sólidos suspensos, de contaminantes orgânicos e de cloro livre.

Os filtros multimédia são lavados com água bruta, a cada 12 horas de serviço. Cada lavagem demora 17 minutos e são gastos 22,3 m³ de água em cada lavagem, o que se pode considerar um grande volume de água. A Figura 6.13 mostra uma imagem deste tipo de filtro e a respectiva saída de efluente da lavagem.



Figura 6.13- Imagem do Filtro Multimédia

Os filtros de carvão também são lavados com água bruta e, dois deles, o F.17.06 e o F.17.07, a cada 48 horas de serviço. O terceiro filtro, o F.17.08, é de maior dimensão e só necessita de ser lavado a cada 96 horas de serviço. A lavagem destes filtros, tal como nos multimédia,

também demora 17 minutos e gastam-se 9,2 m³ de água por cada lavagem. A Figura 6.14 mostra uma imagem do filtro de carvão e a respectiva saída de efluente da lavagem.



Figura 6.14- Imagem do filtro de carvão

Toda a água gasta tanto no processo de regeneração, como nos filtros é enviada para a rede de efluentes industriais e reencaminhada para a ETAR.

O efluente produzido nas lavagens dos filtros, tal como na regeneração das colunas, tem um volume praticamente igual ao volume de água usada para a lavagem dos filtros.

Como foi dito anteriormente, o processo de regeneração das colunas na desmineralização da água possui um elevado consumo de água bruta e uma quantidade significativa de efluentes gerados.

Através do SIAP foi possível recolher os dados relativamente a estes dois volumes, durante o mês de Julho, Agosto e Setembro.

- Pré-filtração

Na instalação de água desmineralizada, quando ocorre a lavagem dos filtros multimédia que fazem parte do pré-tratamento de água bruta, gera-se um grande volume de efluente e que também foi analisado ao longo de quatro semanas.

Cada lavagem é feita com água bruta após 12 horas de serviço e demora no total 17 minutos. Neste caso, foi recolhida uma amostra composta. Ou seja, recolheu-se uma amostra logo no início da lavagem e depois foram-se recolhendo outras amostras, todas com o mesmo volume, de 4 em 4 minutos. Misturaram-se todas as amostras, homogeneizou-se bem, e no final foi retirado apenas um certo volume de amostra para análise.

A Figura 6.15 mostra a saída do efluente de onde foram retiradas as amostras.



Figura 6.15- Imagem da saída do efluente da lavagem do filtro multimédia

Sabe-se que nos filtros multimédia, por cada lavagem, são consumidos 22,3 m³. Observando a Tabela 6.2 pode-se concluir que ao longo dos três meses, a média diária de consumo de água nas lavagens foi de 44,6 m³/dia.

Tabela 6-2- Consumo de água nas lavagens dos filtros multimédia

	JUL	AGO	SET
N.º de lavagens	62	62	60
Média diária de lavagens	2	2	2
Consumo de água mensal (m ³)	1382,6	1382,6	1338
Média diária de consumo de água (m ³)	44,6	44,6	44,6
Média diária ao longo dos 3 meses (m ³)		44,6	

O volume de efluente gerado na lavagem equivale ao volume de água bruta gasta na lavagem, portanto será também 44,6 m³ por dia.

Para analisar o efluente, foram recolhidas quatro amostras e analisou-se pH, temperatura, condutividade, Cloro Total e SST, e Fe e anteriormente, na Tabela 5.1, foram descritos os métodos ou bibliografia usados. A Tabela 6.3 apresenta os dados relativos às análises laboratoriais do efluente das lavagens dos filtros multimédia.

Tabela 6-3- Resultados das análises laboratoriais ao efluente das lavagens dos filtros multimédia

	06-Jul	15-Jul	21-Jul	27-Jul
pH	7,73	7,17	7,63	7,79
Temperatura (°C)	25,1	23,5	26	26,1
Condutividade (µS)	335	366	370	391
Cloro total (mg/L)	0,36	0,21	0,19	0,33
SST (mg/L)	16,9	21,1	16,2	19,7
Fe (mg/L)		0,27	0,42	0,45

Os filtros multimédia são filtros adequados para eliminar sólidos em suspensão e quando existe uma quantidade elevada de partículas retidas no seu manto filtrante, quer dizer que chegaram ao estado de colmatção e necessitam de ser lavados. Portanto, a lavagem vai arrastar os sólidos retidos e no efluente obtido nesta lavagem a concentração de SST tem de ser bastante considerável, tal como aconteceu. Observando a Tabela 6.3 e comparando com a tabela 6.1 é possível concluir que as características do efluente aproximam-se das características da água bruta, exceptuando os SST.

- Filtração

A etapa da filtração é constituída por filtros de carvão. Os filtros de carvão têm como objectivo remover o cloro e a matéria orgânica, uma vez que estes elementos degradam

rapidamente as resinas trocadoras de iões, que estão presentes no processo de desmineralização da água.

O sistema de filtros de carvão é composto por três filtros, o F17.06 e o F17.07, que são iguais e um de maior dimensão, o F17.08. Para qualquer um dos filtros consumo de água por lavagem é de 9,2 m³.

Nas Tabelas 6.4 e 6.5 e 6.6 estão apresentados o número de lavagens por cada filtro e os respectivos consumos.

Tabela 6-4 - Consumo de água nas lavagens do F 17.06

	JUL	AGO	SET
N.º de regenerações	7	7	8
Média diária de regenerações	0,2	0,2	0,3
Consumo de água mensal (m ³)	64,4	64,4	73,6
Média diária de consumo de água (m ³)	2,1	2,1	2,5
Média diária ao longo dos meses (m ³)		2,2	

Tabela 6-5 - Consumo de água nas lavagens do F17.07

	JUL	AGO	SET
N.º de lavagens	7	7	7
Média diária de lavagens	0,2	0,2	0,2
Consumo de água mensal (m ³)	64,4	64,4	64,4
Média diária de consumo de água (m ³)	2,1	2,1	2,1
Média diária ao longo dos meses (m ³)		2,1	

Tabela 6-6 - Consumo de água nas lavagens do F17.08

	JUL	AGO	SET
N.º de lavagens	4	4	3
Média diária de lavagens	0,1	0,1	0,1
Consumo de água mensal (m ³)	36,8	36,8	27,6
Média diária de consumo de água (m ³)	1,2	1,2	0,9
Média diária ao longo dos meses (m ³)		1,1	

Os filtros F17.06 e F17.07 têm um consumo médio diário aprox. de 2 m³, enquanto o F.17.08 têm uma média de 1 m³. Este facto deve-se ao facto de o F 17.08 ser maior e então não necessita de ser regenerado tão frequentemente, uma vez que também não se degrada tão rapidamente como o F17.06 e o F17.07.

A lavagem destes filtros também é feita com água bruta e a cada 48 horas de serviço.

Tal como nos filtros multimédia a lavagem demora 17 minutos e também se analisou o efluente resultante.

Efectuou-se a recolha de amostras compostas e o procedimento foi exactamente igual ao descrito anteriormente, no caso dos filtros multimédia.

Na Figura 6.16 está representada a saída do efluente da lavagem dos efluentes e de onde foram recolhidas as amostras.



Figura 6.16- Imagem da saída do efluente da lavagem do filtro de carvão

Foram recolhidas quatro amostras de efluente para análise de pH, temperatura, condutividade, cloro total e SST, e Fe e os resultados obtidos encontram-se na Tabela 6.7.

Tabela 6-7 – Resultados das análises laboratoriais ao efluente da lavagem dos filtros de carvão

	05-Jul	14-Jul	27-Jul	03-Ago
pH	7,32	7,38	7,67	7,43
Temperatura (°C)	26	25,7	25,3	25,5
Condutividade (µS)	348	369	405	332
Cloro total (mg/L)	0,3	0,35	0,44	0,3
SST (mg/L)	1,1	0,5	55,6	1,5
Fe (mg/L)	0,2	0,2	0,45	0,22

Tal como era de esperar, neste caso já não se verifica uma quantidade elevada de sólidos suspensos totais, uma vez que a água que passa por este filtro já passou por um processo de filtração nos filtros multimédia e então não há retenção de sólidos no filtro de carvão. Contudo esta situação não se verifica na amostra recolhida a 27 de Julho. Esta análise foi feita a uma amostra do efluente do filtro F17.08, que apresenta maior autonomia, uma vez que necessita de ser lavado menos vezes. No entanto, tal como foi dito anteriormente, a água gasta para a sua lavagem é a mesma da quantidade de água usada para a lavagem dos filtros 17.06 e 17.07, que são os de menor dimensão.

- Regeneração das colunas

Na Instalação de água desmineralizada encontram-se três colunas de permuta iónica, com a designação de A2S1, A2S2 e NRC 80, tal como foi dito anteriormente.

Para regenerar as colunas A2 S1 e A2S2 há um consumo, por cada uma das colunas, de 18,1 m³ de água bruta e 2,8 m³ de água desmineralizada. Na regeneração da coluna NRC 8o usa-se apenas água desmineralizada, sendo 17, 4 m³ o volume utilizado por regeneração.

Nas Tabelas 6.8, 6.9 e 6.10 pode-se visualizar a média de consumo diária de água gasta nas regenerações em cada uma das colunas de permuta iónica.

O volume do efluente é praticamente igual ao consumo de água gasta nas regenerações.

Tabela 6-8- Consumo de água na regeneração do desmineralizador A2S1

	JUL	AGO	SET
N.º de regenerações	37	42	45
Média diária de regenerações	1,2	1,4	1,5
Consumo de água mensal (m ³)	773,3	877,8	940,5
Consumo de água diária (m ³)	24,9	28,3	31,4
Média diária ao longo dos meses (m ³)	28,2		

Tabela 6-9 - Consumo de água na regeneração do desmineralizador A2S2

	JUL	AGO	SET
N.º de regenerações	76	95	124
Média diária de regenerações	2,5	3,1	4,1
Consumo de água mensal (m ³)	1.588,4	1.985,5	2.591,6
Consumo de água diária (m ³)	51,2	64,0	86,4
Média diária ao longo dos meses (m ³)	67,2		

Tabela 6-10 - Consumo de água na regeneração do desmineralizador NRC8o

	JUL	AGO	SET
N.º de regenerações	48	56	71
Média diária de regenerações	1,5	1,8	2,4
Consumo de água mensal (m ³)	835,2	974,4	1235,4
Consumo de água diária (m ³)	26,9	31,4	41,2
Média diária ao longo dos meses (m ³)	33,2		

Nos desmineralizadores com a designação de A2S1 e A2S2, a regeneração é feita num total de 200 minutos. Para analisar o efluente resultante, que também possui um volume bastante elevado, procedeu-se à recolha de uma amostra composta. No início da regeneração recolheu-se uma amostra e depois foram-se recolhendo outras amostras, todas com o mesmo volume, de 15 em 15 minutos. Seguidamente, misturaram-se todas as amostras, homogeneizou-se bem, e no final foi retirado apenas um certo volume de amostra para análise.

No desmineralizador com a designação de NRC80, a regeneração é feita durante 100 minutos. Apesar de demorar menos tempo que no caso anterior, a recolha das amostras para análise foi feita exactamente da mesma forma que nos desmineralizadores A2S1 e A2S2. Na Figura 6.17 é possível visualizar uma imagem da saída do efluente, onde foram recolhidas as amostras, da regeneração do desmineralizador NRC80. E a Figura 6.18 mostra uma imagem da saída do efluente, onde foram recolhidas as amostras, da regeneração dos desmineralizador A2S1 e A2S2.



Figura 6.17- Imagem da saída do efluente da regeneração do desmineralizador NRC80



Figura 6.18 – Imagem da saída do efluente da regeneração do desmineralizador A2S1

A Tabela 6.11 representa as características do efluente dos desmineralizadores A2S1 e A2S2. Na tabela, optou-se por não fazer distinção entre estes dois desmineralizadores, uma vez que são regenerados da mesma forma e não apresentam grandes diferenças na constituição dos seus efluentes.

Como se pode observar, o efluente é ácido, uma vez que apresenta um pH muito baixo. Estes valores podem dever-se ao facto de ser adicionado Ácido Clorídrico, a uma concentração de 33%, na regeneração e esta também é a razão de a concentração de HCl no efluente ser também tão elevada. Apesar de também ser adicionada Soda à coluna aniónica, o HCl adicionado é satisfatório para regenerar a coluna catiónica, no entanto não é suficiente para neutralizar o efluente.

Os valores dos SST também variam consideravelmente de amostra para amostra. Este facto relaciona-se com a qualidade de água bruta que chega à filtração. Uma água de baixa qualidade pode conter mais sólidos e portanto a filtração a que está sujeita, antes de ir para a desmineralização, pode não ser tão eficaz como a filtração que é feita a uma água de boa qualidade.

Tabela 6-11 – Resultado das análises laboratoriais ao efluente da regeneração das colunas de desmineralização tipo A2S

	13-Jul	19-Jul	05-Ago	13-Ago
pH	1,67	0,99	1,58	1,43
Temperatura (°C)	23,5	24,5	20,9	22,1
Condutividade (µS)	27600	69800	48600	47100
Cloro total (mg/L)	0,01	0	0,02	0
SST (mg/L)	3,8	9,6	16,1	8,8
Conc. HCl (mg/L)		729	984,15	765,45

No caso do desmineralizador NRC8o, optou-se por recolher 5 amostras, uma vez que o efluente gerado apresentou características muito variáveis. Como se pode visualizar, na Tabela 6.12, as duas primeiras amostras apresentavam-se muito ácidas, e as restantes três muito alcalinas. Os SST também apresentam uma variação muito grande entre as primeiras duas amostras e as restantes três.

Tabela 6-12- Resultado das análises laboratoriais ao efluente da regeneração das colunas de desmineralização tipo NRC8o

	01-Jul	22-Jul	04-Ago	17-Ago	24-Ago
pH	1,04	1,35	13,69	13,12	13,01
Temperatura (°C)	21,7	23,6	20,7	24,2	23,6
Condutividade (µS)	63800	50000	54300	31200	32330
Cloro total (mg/L)	0,01	0,03	0	0	0
SST (mg/L)	10,3	18,2	166,7	129	152
Conc. HCl (mg/L)	-	692,55	-	-	-

➤ Torres de refrigeração

No sector PCA existem cinco torres de refrigeração, das quais quatro mais antigas e com menor dimensão e uma outra mais recente e de maior dimensão. A Figura 6.19 mostra uma imagem de umas das torres de refrigeração do sector PCA.



As torres Figura 6.19- Imagem de uma das torres de refrigeração do sector PCA consomem um volume significativo de água. Inicialmente, quando o estágio começou, não havia registos dos consumos de água de algumas torres. No entanto, este problema corrigiu-se com a instalação de contadores novos ou então com o arranjo dos que estavam danificados. Como tal, no mês de Setembro, exceptuando o refrigerante 4, foi possível recolher todas as informações relativas aos consumos de água através do programa SIAP. No entanto, não havia quaisquer registos referentes ao caudal das purgas nem à taxa de evaporação da água das torres de refrigeração. Estes dados em falta foram calculados por balanço.

O refrigerante 1 é o que corresponde às necessidades dos transformadores/Rectificadores: *Electrólise de HCl* e Instalação de Energia de Socorro; Para este refrigerante houve uma média diária de 48,8 m³ por dia, tal como se pode observar na Tabela 6.13.

Tabela 6-13 – Consumo de água na Torre de Refrigeração 1

	JUL	AGO	SET
Consumo mensal (m ³)	1440,4	1437,7	1605,7
Consumo diário (m ³)	46,5	46,4	53,5
Consumo médio diário dos três meses (m ³)		48,8	

O refrigerante 2 satisfaz as necessidades dos compressores de cloro, quatro frigoríficos e vários arrefecedores; Como é possível observar na tabela 6.14, ao longo dos três meses gastou-se em média 21,7 m³ por dia.

Tabela 6-14 - Consumo de água na Torre de Refrigeração 2

	JUL	AGO	SET
Consumo mensal (m ³)	502,3	733,7	754,6
Consumo diário (m ³)	16,2	23,7	25,2
Consumo médio diário dos três meses (m ³)		21,7	

A Tabela 6.15 é relativa ao consumo de água do refrigerante 3, que gastou em média 127,5 m³ por dia. Este refrigerante corresponde ao Ácido de Absorção, Ácido de Síntese, Absorção de Emergência, um frigorífico e vários arrefecedores.

Tabela 6-15 - Consumo de água na Torre de Refrigeração 3

	JUL	AGO	SET
Consumo mensal (m ³)	3698,6	4275,6	3759,0
Consumo diário (m ³)	119,3	137,9	125,3

Consumo médio diário dos três meses (m³)

127,5

Ao refrigerante 4 compete satisfazer as necessidades da Electrólise AGC, Processamento de Hidrogénio AGC, Processamento e Concentração de Soda, Liquefacção de Cloro . Não foi possível obter valores para esta torre de arrefecimento uma vez que o contador nunca esteve disponível para visualização e o sistema SIAP também não continha qualquer registo.

Para finalizar, como se pode visualizar na tabela 6.16 o refrigerante 5 consumiu uma média de 174,1 m³ diários. Este refrigerante satisfaz as necessidades da Instalação do Processamento H₂, Instalação de Hipoclorito de Sódio, Absorção de HCl (existente), Síntese de HCl e a nova Instalação de Absorção de HCl.

Tabela 6-16- Consumo de água na Torre de Refrigeração 5

	JUL	AGO	SET
Consumo mensal (m ³)	4604,2	6177,8	5238,0
Consumo diário (m ³)	148,5	199,3	174,6
Consumo médio diário dos 3 meses (m ³)	174,1		

Como já foi descrito anteriormente, o sistema de refrigeração apresenta um consumo de água bastante considerável, uma vez que alguma da água que é captada evapora e perde-se por arrastamento, necessitando de uma reposição de água. Além disso, devido às perdas por evaporação que ocorrem nas torres húmidas, alguns sais presentes naturalmente na água, aumentam as suas concentrações na água de circulação, até alcançar o seu limite de solubilidade. A partir daí, começam a ocorrer corrosões e incrustações, que diminuem a eficiência da troca de calor. Para evitar que isto aconteça, parte da água de circulação é purgada, de forma que a concentração de sais não chegue ao ponto de saturação.

Os resultados das análises da água que está contida no tanque dos refrigerantes e que equivale à água que sai na purga, portanto, ao efluente das torres, foram cedidos pela empresa exterior que monitoriza as torres de refrigeração na CUF-QI. Os resultados não são actuais, uma vez que apenas foram disponibilizados os resultados obtidos no final do ano de 2009, mesmo assim optou-se por trabalhar com estes dados.

Através dos dados da Tabela 6.17, que representa uma média dos resultados das análises de Setembro a Dezembro de 2009, pode-se concluir que no controlo analítico são utilizados compostos como Zinco, Ortofosfatos, Polímeros. Alguns dos restantes parâmetros, tais como Ferro e Cloretos, são derivados da deposição de alguns sais ou até mesmo das tubagens, como é o caso do Fe.

Tabela 6-17 – Resultado da análise ao efluente das torres de refrigeração 1,2,3,4,5

	pH	Condutividade uS/Cm	Alcalinidade ppm CaCO ₃	Cloretos ppm Cl	Ca ²⁺ ppm CaCO ₃	Fe ppm Fe	o-PO ₄ ppm PO ₄	Zn ppm FFZ	Polímeros PLU	Cl ₂ ppm Cl ₂
R1	7,79	1.039,00	119,67	186,56	116,76	1,02	12,93	0,94	119,10	0,45

R2	8,01	1122,18	158,9	183,64	173	1,06	12,91	0,61	106,32	0,5
R3	8	1330,36	166,86	203,55	147,14	1,37	11,7	0,28	105,86	0,45
R4	8,15	1122,41	173,57	213,64	112,62	0,91	12,1	0,7	91,71	0,48
R5	8,23	890,68	133,43	150,71	116,33	0,85	8,2	1,36	88,6	0,48

As purgas das torres de refrigeração foram calculadas por balanço. O método usado foi baseado em Metcalf & Eddy (2003), em que o balanço da água de uma torre de refrigeração calcula-se da seguinte forma:

$$Q_A = Q_E + Q_R + Q_P$$

Onde,

Q_A – Caudal da água de reposição, m³/dia

Q_E – Caudal da água que se perde por evaporação, m³/dia

Q_R – Caudal da água que se perde por arrastamento, m³/dia

Q_P – Caudal da água que sai na purga, m³/dia

Em termos de concentração de sais, o balanço é dado pela expressão:

$$Q_A C_A = Q_E C_E + Q_R C_R + Q_P C_P$$

Onde,

C_A – Concentração de sais na água de reposição, mg/L

C_E – Concentração de sais na água que se perde por evaporação, mg/L

C_R – Concentração de sais na água que se perde por arrastamento, mg/L

C_P – Concentração de sais da água que sai na purga, mg/L

O caudal de água que se perde por arraste é menor que 0,005 % do caudal de recirculação, portanto o parâmetro $Q_R C_R$ pode ser desprezado. No entanto, a água que se perde por evaporação não contém sais, logo C_E é igual a zero. Portanto o balanço reduz-se à seguinte equação (Metcalf & Eddy, 2003):

$$Q_A C_A = Q_P C_P$$

O método usado para o cálculo do referido balanço foi o de Metcalf & Eddy, pois trata-se de um método simples e directo, uma vez que há conhecimento da concentração de cloretos na água de reposição e na água que sai da purga.

O caudal de água que é perdida de arraste não foi considerado no cálculo, não só porque no método referido é desprezado mas também porque segundo o fabricante das torres usadas

na CUF-QI, o caudal de água perdida por arrastamento é de 0,002% do caudal de recirculação, o que corresponde a um valor ainda menor do que aquele mencionado por Metcalf & Eddy.

- Para o caso do **Refrigerante 1:**

$$Q_A = 48,8 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A concentração de sais é dada pela concentração de cloretos na água.

Concentração de cloretos da água de reposição = 70 ppm Cl

Concentração de cloretos da água da purga = 186,56 ppm CaCO_3

Logo o valor de Q_P é dado por:

$$48,8 \times 70 = Q_P \times 186,56 \Leftrightarrow Q_P = 18,3 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- Para o caso do **Refrigerante 2:**

$$Q_A = 21,7 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A concentração de sais é dada pela concentração de cloretos na água.

Concentração de cloretos da água de reposição = 70 ppm Cl

Concentração de cloretos da água da purga = 183,64 ppm CaCO_3

Logo o valor de Q_P é dado por:

$$21,7 \times 70 = Q_P \times 183,64 \Leftrightarrow Q_P = 8,3 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- Para o caso do **Refrigerante 3:**

$$Q_A = 127,5 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A concentração de sais é dada pela concentração de cloretos na água.

Concentração de cloretos da água de reposição = 70 ppm Cl

Concentração de cloretos da água da purga = 203,55 ppm Cl

Logo o valor de Q_P é dado por:

$$127,5 \times 70 = Q_P \times 203,55 \Leftrightarrow Q_P = 43,8 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- Para o caso do **Refrigerante 5:**

$$Q_A = 174,1 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A concentração de sais é dada pela concentração de cloretos na água.

Concentração de cloretos da água de reposição = 70 ppm Cl
 Concentração de cloretos da água da purga = 203, 55 ppm Cl

Logo o valor de Q_p é dado por:

$$174,1 \times 70 = Q_p \times 150,71 \Leftrightarrow Q_p = 80,9 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A Tabela 6.18 apresenta os valores dos caudais da água de reposição e da água das purgas dos refrigerantes do sector PCA.

Tabela 6-18 - Caudais da água de reposição e da água das purgas dos refrigerantes do sector PCA

	Caudal de água de reposição (m ³ /dia)	Caudal de água da purga (m ³ /dia)
R1	48,8	18, 3
R2	21,7	8, 3
R3	127,5	43, 8
R5	174,1	80,9

➤ Liquefacção do Cloro

A instalação de Liquefacção do Cloro possui uma operação de arrefecimento de equipamentos. Este arrefecimento é feito através dos chuveiros que espalham água sobre os equipamentos, tal como se pode observar na Figura 6.20. O volume de água gasto nesta operação não estava quantificado, havia apenas uma estimativa no sistema SIAP. Para apurar se essa estimativa estava correcta, em Agosto foi instalado um contador, como mostra a Figura 6.21, com o objectivo de poder calcular o volume de água gasta no arrefecimento. Este contador não manda sinal para a sala de controlo, então a leitura foi feita diariamente, durante um mês, no próprio local.

Convém referir que, nesse processo, o volume de água consumida é praticamente igual ao volume de efluente gerado, uma vez que a água cai sobre os equipamentos e escorre imediatamente para a rede de efluentes.

Sendo este um efluente contínuo e com um caudal bastante considerável, viabilizou-se a ideia de analisar o efluente e medir o caudal de água gasto no arrefecimento.



Figura 6.20- Imagem dos chuveiros de água para arrefecimento de equipamentos nas instalações de Liquefacção do Cloro



Figura 6.21- Imagem do contador instalado na Liquefacção do Cloro

Na Tabela 6.19 é possível observar os valores que foram lidos no contador durante o mês de Setembro. Conclui-se que se gastaram 1412 m³ durante todo o mês, o que equivale a uma média de 47 m³ por dia. O volume de efluente gerado corresponde ao mesmo valor do consumo de água. Os dias que estão sombreados a cinzento correspondem aos fins-de-semana, portanto o valor referente a esses dias é uma média da diferença do valor apresentado no contador na Segunda-feira, com o valor que era apresentado na Sexta-feira anterior.

Tabela 6-19- Apresentação dos valores do volume de água consumido na Liquefacção de Cloro

Data	Volume de água (m ³)
1	0
2	0

3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	83
10	119
11	40
12	40
13	40
14	176
15	0
16	19
17	26
18	22
19	22
20	22
21	2
22	0
23	0
24	121
25	201
26	201
27	201
28	77
29	0
30	0
Total (m³)	1412
Média do consumo diário (m³)	47,07

Como foi dito anteriormente, a Instalação de Liquefacção do Cloro possui equipamentos que necessitam de ser arrefecidos. Isto acontece porque o cloro gasoso que chega à instalação tem de ser comprimido e, depois desta operação, o Cloro encontra-se a uma temperatura elevada, o que não é adequado, uma vez que o Cloro a temperaturas elevadas pode reagir com o Ferro. Desta forma, é necessário que o Cloro passe por um permutador de calor para ser arrefecido. Este permutador necessita também de ser arrefecido e por isso existem chuveiros que deitam água em cima dos mesmos. O volume de água gasta nesta instalação corresponde exactamente à água dos referidos chuveiros.

Os 47 m³, que correspondem à média de consumo diário no mês de Setembro, ficam bastante aquém do valor estimado pelo SIAP, que são 180m³. Este valor vai variando conforme a produção e a necessidade de arrefecimento do Cloro. Nem sempre o cloro sai da compressão a temperaturas que necessitam de arrefecimento e outras vezes, quando a produção de Hipoclorito de Sódio é elevada, é necessário muito Cloro gasoso e então há uma baixa no

fabrico de Cloro líquido. Por estas razões, a quantidade de água gasta nesta instalação varia de mês para mês, e não se pode considerar que exista um padrão referente ao consumo de água, uma vez que a água gasta nesta instalação depende de vários factores.

Na Tabela 6.20 estão disponíveis os valores relativos às análises das amostras de efluente recolhidas. Foram efectuadas quatro recolhas de amostras durante quatro semanas, ou seja uma amostra por semana. Os parâmetros analisados foram o pH, temperatura, condutividade, cloro total e SST, e a respectiva bibliografia e métodos usados foram descritos no capítulo que se refere às análises laboratoriais de efluentes.

Tabela 6-20 – Resultados das análises laboratoriais ao efluente da Liquefacção do Cloro

	28-Jun	07-Jul	28-Jul	06-Ago
pH	7,15	7,8	7,3	7,7
Temperatura (°C)	23,7	23,7	22,9	23,9
Condutividade (µS)	333	350	360	334
Cloro total (mg/L)	0,37	0,35	0,4	0,37
SST (mg/L)	22,7	37,2	36,8	24,1

Comparando os valores de pH e a condutividade do efluente presente na Instalação de Liquefacção do Cloro, com as características da água bruta na Tabela 6.1, pode-se concluir que os valores se aproximam. Os SST verificados podem estar associados aos sólidos do piso da instalação que são arrastados com o escoar da água.

➤ **Electrólises- Instalação de Processamento de H₂**

O consumo de água bruta na Instalação de Processamento de H₂ é para a reposição de água no Fecho de Água, no entanto não há qualquer referência ao volume de água gasta no Processamento de H₂, há apenas uma estimativa do volume de água que é fornecida à Electrolise de NaCl.

Portanto, na Instalação de Processamento de H₂ abordou-se apenas o efluente que é gerado. A Figura 6.22 mostra o referido efluente. Este efluente é contínuo e provem de um fecho de água e de condensados, mas também não possui qualquer registo da sua quantificação, portanto o seu volume foi medido manualmente, através de um recipiente e cronómetro. Foram feitas medições em três dias diferentes e em cada um dos dias fizeram-se três medições seguidas. O recipiente usado tinha o volume de 1 L.



Figura 6.22 – Imagem da saída de efluente no Processamento de H_2

A Tabela 6.21 apresenta os valores relativos ao tempo de duração da saída do efluente do Processamento de H_2 .

Tabela 6-21 – Tempo médio de duração da saída do efluente do Processamento de H_2

	Dia 1	Dia 2	Dia 3
Tempo medição 1 (s)	9,5	10,1	9,8
Tempo medição 2 (s)	10	9,8	10
tempo medição 3 (s)	10,2	10	9,8
Média de tempo (s)	9,9	10,0	9,9
Média de tempo dos 3 dias (s)	9,9		

Após as medições conclui-se que o volume deste efluente é 9 m³ diários.

Tal como nos outros casos, também neste foram recolhidas quatro amostras e procedeu-se à análise de pH, temperatura, condutividade, cloro total, SST, e NaOH em cada uma delas. Os resultados obtidos nestas análises estão apresentados na Tabela 6.22.

Tabela 6-22- Resultado das análises laboratoriais ao efluente do Processamento de H_2

	28-Jun	07-Jul	15-Jul	22-Jul
pH	11,48	12,18	11,97	12,37
Temperatura (°C)	25,1	24,7	24,5	24,8
Condutividade (µS)	331	1320	1232	1552
Cloro total (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1
SST (mg/L)	1	1,7	0,7	0,8
NaOH (mg/L)	0,2	0,24	0,2	0,24

Nenhum dos parâmetros mostrou grande variação ao longo da análise de todas amostras, à excepção da condutividade no dia 28 de Junho.

Na Electrólise de NaCl, quando se forma o Hidrogénio no cátodo, também se forma Soda Cáustica que fica recirculando. O Hidrogénio produzido contém vapor de água e restos de soda, que posteriormente vai fazer com que os condensados provenientes do arrefecimento do Hidrogénio contenham de igual forma soda, conferindo assim um pH alcalino ao efluente.

➤ **Instalação de Absorção de HCl**

A instalação de Absorção de HCl destina-se à produção de Ácido Clorídrico a 100%. Esta instalação recebe o HCl gasoso resultante da Síntese de HCl e através da absorção deste em água desmineralizada e de HCl@17%, proveniente da electrólise de HCl, forma-se Ácido Clorídrico quimicamente puro.

O efluente gerado nesta instalação resulta dos condensados que são obtidos no processo de arrefecimento do ácido. Este efluente possui um caudal considerável porque, além dos condensados, possui também água que é adicionada para solucionar uma falha no processo de arrefecimento do ácido.

O referido efluente é contínuo e tal como em alguns casos descritos anteriormente, não há qualquer registo dos dados correspondentes ao volume de efluente, portanto o seu caudal foi medido, manualmente, no local com cronómetro e recipiente. A Figura 6.23 mostra a saída deste efluente e onde foram recolhidas as amostras.



Figura 6.23- Imagem da saída de efluente na instalação de absorção de HCl

Tal como no Processamento de H_2 , também na instalação de HCl só foi considerado o efluente gerado. Não havia qualquer registo do caudal deste efluente, nem há nenhum contador que possa fornecer essa informação. Portanto, de forma a calcular o volume de efluente gerado foi medido no local, manualmente, com um recipiente e um cronómetro.

Este caudal foi medido tal como no caso do Processamento de H_2 . Foram feitas medições em três dias diferentes e em cada um dos dias fizeram-se três medições seguidas e recipiente usado tinha também o volume de 1 L. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6.23.

Tabela 6-23 - Tempo médio de duração da saída do efluente da Absorção de HCl

	Dia 1	Dia 2	Dia 3
Tempo medição 1 (s)	4,1	4,2	3,9
Tempo medição 2 (s)	3,9	4,1	3,8
tempo medição 3 (s)	4	4,1	4,1

Média de tempo (s)	4,0	4,1	3,9
Média de tempo dos três dias (s)		4,0	

Depois de várias medições chegou-se à conclusão que o volume médio de efluente gerado por dia é 21,6 m³.

Na Tabela 6.24 estão representados todos os valores obtidos nas análises feitas às quatro amostras recolhidas de efluente.

Tabela 6-24 – Resultado das análises laboratoriais ao efluente da Absorção de HCl

	28-Jun	07-Jul	15-Jul	23-Jul
pH	2,52	4,35	4,2	4,5
Temperatura (°C)	24,1	23,3	24,4	24,2
Condutividade (μS)	2250	36,6	34,3	84,3
Cloro total (mg/L)	0,22	0,2	0,26	0,16
SST (mg/L)	0,4	0,5	0,8	1,1
Cloretos (mg/L)		106,5	142	142

O efluente gerado nesta instalação resulta dos condensados que são obtidos no processo de arrefecimento do ácido. Este efluente possui um caudal considerável porque, além dos condensados, possui também água que é adicionada para solucionar uma falha no processo de arrefecimento do ácido.

➤ Lavagem de bidons

O consumo de água bruta nesta instalação é para a lavagem de garrafas e tambores de Cloro. Os recipientes de Cloro são sujeitos a inspeção de 3 em 3 anos. Em alguns meses acumulam-se tambores e garrafas que se encontram perto da data de inspeção e como tal precisam de ser lavados e reparados. Geralmente a quantidade de recipientes que se juntam para inspeção ainda é significativa, e como tal o volume de água bruta gasto na sua lavagem é considerável.

Os recipientes antes de serem lavados passam por uma prova hidráulica, ou seja, são completamente cheios de água e são submetidos a alguns testes que estão relacionados com a inspeção a que são sujeitos. Só depois de passarem pela prova hidráulica é que são lavados e reparados para posterior utilização. A Figura 6.24 apresenta uma imagem da lavagem de uma garrafa de Cloro.

Convém referir que a água gasta neste processo não é tão significativa como nos casos anteriores, mas mesmo assim mereceu especial atenção, uma vez que, talvez seja possível reutilizar o efluente de outros processos na lavagem dos tambores e garrafas.



Figura 6.24- Imagem da lavagem de recipientes de cloro

No SIAP encontra-se uma estimativa do valor correspondente ao consumo de água na lavagem. No entanto, decidiu-se verificar junto do responsável da instalação se a estimativa seria coerente. Como não existe um contador de água que possa medir, com precisão, o volume de água gasta na lavagem, o responsável optou por fazer uma estimativa através do volume de cada uma das garrafas e tambores de Cloro, uma vez que havia registo do número de garrafas lavadas nos últimos meses.

Portanto, sabe-se que cada tambor possui cerca 840 litros e cada garrafa possui cerca de 50 litros e que para serem lavados têm que passar pela prova hidráulica, onde são completamente cheios de água. Segundo estas apreciações e considerando que na lavagem, que é efectuada após a prova hidráulica, a água gasta corresponde a 10% do volume total, foi possível obter os resultados descritos na Tabela 6.25.

Tabela 6-25 – Consumo de água gasta na lavagem de tambores e garrafas de Cloro

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Quantidade de tambores	21	17	0	15	0	10	126
Consumo de água nas P.H. (L)	17640	14280	0	12600	0	8400	105840
Consumo de água na lavagem* (L)	1764	1428	0	1260	0	840	10584
Consumo total de água (L) /mês	19404	15708	0	13860	0	9240	116424

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Quantidade de garrafas	60	74	0	41	0	63	106
Consumo de água nas P.H. (L)	3000	3700	0	2050	0	3150	5300
Consumo de água na lavagem (L)*	300	370	0	205	0	315	530
Consumo total de água (L) /mês	3300	4070	0	2255	0	3465	5830
Consumo total de água/mês (L)	22704	19778	0	16115	0	12705	122254
Consumo total de água/mês (m ³)	22,704	19,78	0	16,12	0	12,71	122,25
Consumo total de água/dia (m ³)	0,73	0,71	0	0,52	0	0,42	3,94

* Corresponde a 10% do consumo de água nas provas hidráulicas

Como se pode observar na tabela, existem alguns meses em que não ocorre lavagem de bidons nem de garrafas e nos que há lavagem, o número de tambores e garrafas não é o mesmo em todos os meses. No entanto, fazendo uma média do volume gasto desde Janeiro até Julho corresponde a 0,9 m³ diários, o que praticamente coincide com a estimativa do SIAP, que é 1m³ por dia.

Relativamente ao volume de efluente gerado nestas lavagens, poderá considerar-se que a sua quantidade é igual à de consumo de água, portanto será também 0,9 m³.

Uma vez que a lavagem de recipientes de cloro ocorre ocasionalmente, foi apenas retirada uma amostra para análise. Esta mesma foi recolhida na caixa para onde escorre o efluente da referida lavagem. Esta caixa está representada na Figura 6.25 e amostra foi retirada através de um recipiente com ajuda do responsável da instalação.



Figura 6.25 – Imagem da saída do efluente da lavagem dos recipientes de Cloro

Na Tabela 6.26 é possível observar os valores resultantes das análises.

Tabela 6-26- Resultados das análises laboratoriais ao efluente da lavagem dos bidons

	29-Jul
pH	12,35
Temperatura (°C)	23,8
Condutividade (us)	2600
Cloro total (mg/L)	0,11

SST (mg/L)	1136
Fe (mg/L)	3,2

Os bidons e as garrafas quando estão cheios de água podem libertar restos de cloro gasoso presente neles. Para que este cloro gasoso não seja libertado para a atmosfera é colocado em cada bidon e garrafa uma mangueira, na saída do cloro, em direcção a um tanque com soda. Desta forma o cloro gasoso que sai, vai em direcção ao tanque de soda onde é neutralizado. Este tanque muitas vezes derrama pequenas quantidades de soda que vão para a rede de efluentes, tal como o efluente da lavagem dos recipientes. Com isto pode-se justificar o facto do efluente da lavagem apresentar um valor de pH alcalino, tal como mostra a tabela. Como os recipientes são lavados, mais ou menos, uma vez em cada 3 anos, apresentam alguma ferrugem e bastante sujidade. Portanto, o efluente apresenta bastante ferro, cerca de 3,2 mg/L e bastantes SST, tal como está indicado na tabela.

6.3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO – SECTOR PAD

Depois da análise detalhada de todas as áreas consumidoras de água no sector PAD, em que foram seguidos os mesmos critérios descritos anteriormente no sector PCA, foram consideradas mais relevantes para estudo,

- Desmineralização da água – Regeneração das colunas de permuta iónica;
- Torres de refrigeração;
- Efluente da Fábrica de Anilina;
- Efluente da Fábrica de Ácido Sulfanílico;
- Efluente da Fábrica de MNB;
- Caldeiras.

Convém referir que nas Fábricas de Anilina, Ácido Sulfanílico e MNB apenas foram considerados os efluentes, porque para além da lavagem de pisos, a água nestes casos é usada para incorporação do produto, e não estão disponíveis dados sobre os volumes de água gastos.

No entanto, tal como no caso do sector PCA, serão seguidamente descritas todas as acções realizadas por cada área que foi alvo de estudo.

➤ Desmineralização da água

A desmineralização da água no sector PAD é realizada em duas linhas paralelas, constituídas por colunas de permuta iónica, uma catiónica, uma aniónica e uma mista.

As duas colunas de regeneração de catiões possuem um caudal máximo de 20 m³/h e um volume de resina por coluna de 1400 L do tipo poliestireno.

As duas colunas de regeneração de aniões têm uma com capacidade para um caudal máximo de 20 m³/h e um volume de resina por coluna de 1650 L do tipo poliestireno.

O conjunto das colunas mistas tem capacidade para um caudal máximo de 20 m³/h e um volume de resina por coluna de 350 L, fortemente básica de permuta de aniões, e 500 L, fortemente ácida para a permuta de catiões (CUF-QI, 2009).

- Regenerações

De forma a evitar o envelhecimento das resinas, é necessário regenerá-las logo que estejam saturadas.

A saturação dos permutadores de iões é indicada pelo analisador de condutividade colocado na conduta de saída dos permutadores de catiões, aniões e mistos.

Os permutadores de catiões e aniões devem ser regenerados um após o outro, sendo primeiro regenerado o permutador de catiões e de seguida do permutador de aniões.

A coluna mista de aperfeiçoamento será regenerada separadamente.

Uma vez que a regeneração depende da condutividade, é portanto necessário efectuar a regeneração de uma coluna de catiões e de uma coluna de aniões quando o valor da condutividade da água na coluna aniónica em serviço atingir um valor próximo dos 9 – 10 $\mu S/cm$.

A regeneração da coluna mista será necessária quando à saída da mesma a condutividade da água desmineralizada registar valores próximos de 3 $\mu S/cm$ (CUF-QI, 2009).

No sector PAD a regeneração das resinas catiónicas é feita com Ácido Sulfúrico, demorando cerca de 2h 30 minutos e o consumo de água é de cerca de 25 m³ de água bruta.

Após a regeneração da coluna de catiões é iniciada a regeneração da coluna de aniões.

A regeneração das resinas aniónicas é feita com Soda Cáustica a 32% e tem a duração de cerca de 2h e 30 minutos. O consumo de água bruta é cerca de 25 m³.

A regeneração das resinas mistas será feita com Soda Cáustica, no caso da resina aniónica e com H₂SO₄ a 98% para o caso da resina catiónica, tendo a duração aproximada de 7 horas.

O consumo de água por regeneração será de cerca de 35 m³ de água.

O efluente produzido durante o processo de regeneração das colunas de catiões e de aniões é aproximadamente de 25 m³ e nas colunas mistas é cerca de 35 m³ por cada uma das colunas. Este efluente é armazenado numa fossa designada por "Regeneração e Mistura" onde se efectuará a sua recirculação sendo enviado para a fossa "Efluente Final", de onde após se verificar um pH compreendido entre 5 – 9 será bombeado para a SIMRIA (CUF-QI, 2009).

A Tabela 6.27 representa os valores referentes ao consumo de água na regeneração das colunas de desmineralização no sector PAD.

Tabela 6-27 – Consumo de água na regeneração das colunas de desmineralização no sector PAD

Consumo de água por regeneração (m ³)	50
Número de regenerações	102
Total do consumo de água (m ³)	5100
Consumo médio diário de água (m ³)	170

O consumo total de água no mês de Setembro foi de 5100 m³, o que equivale a uma média diária de 170 m³. O efluente gerado tem o mesmo volume do consumo de água, portanto tem também 170 m³.

Uma vez que neste caso, a regeneração das colunas é feita com HCl e soda supõe-se que este efluente seja de má qualidade, tal como no sector PCA.

No caso da desmineralização do sector PAD não existe um sistema de pré-filtração, a água que passa pelas colunas de permuta iónica terá menos qualidade que no sector PCA e então o efluente da regeneração das colunas no sector PAD terá igualmente menos qualidade do que no outro sector referido.

➤ Torres de refrigeração

No sector PAD existem três torres de refrigeração, uma correspondente às Instalações do Ácido Nítrico, outra correspondente às Instalações do MNB e uma relativa às Instalações da Anilina.

Qualquer uma destas torres consome um volume muito considerável de água. No entanto, neste sector já se verifica algumas formas de reutilização de água, uma vez que a água da purga da Torre do Nítrico serve de água de alimentação para a Torre da Anilina. A água da purga não é suficiente e é então adicionado algum volume de água bruta para alimentação desta torre.

No sector PAD não foi necessário o cálculo de qualquer balanço para a torre do Ácido Nítrico e da Anilina, uma vez que os dados respeitantes ao caudal de água que evapora, ao caudal de água que é arrastada e ao caudal da água das purgas, que é o mais relevante, já eram conhecidos e foram disponibilizados pelos responsáveis da produção.

Nas Tabelas 6.28 e 6.29 é possível observar os dados relativos aos caudais de água de alimentação, água evaporada, água arrastada e água da purga da Torre do Ácido Nítrico e da Torre da Anilina do sector PAD.

Tabela 6-28 – Caudais de água de alimentação, água evaporada, água arrastada e água da purga da Torre de HNO₃

Torre do Ácido Nítrico

Caudal de água de alimentação (m ³ /dia)	Caudal de água evaporada (m ³ /dia)	Caudal de água perdida por arraste (m ³ /dia)	Caudal de água da purga (m ³ /dia)
1677,6	1324,8	2,4	350,4

Tabela 6-29- Caudais de água de alimentação, água evaporada, água arrastada e água da purga da Torre de Anilina

Torre da Anilina

Caudal de água de alimentação (incluindo purga da torre de HNO ₃) (m ³ /dia)	Caudal de água evaporada (m ³ /dia)	Caudal de água perdida por arraste (m ³ /dia)	Caudal de água da purga (m ³ /dia)
2104,8	1528,8	2,4	573,6

Para a Torre do MNB não havia informação acerca da água evaporada, água arrastada e água da purga, portanto o caudal da água da purga teve que ser calculado por balanço segundo Metcaf & Eddy, tal como no sector PCA. A Tabela 6.30 mostra os valores relativos ao caudal de água de reposição na Torre do MNB.

Tabela 6-30- Caudal de água de reposição da Torre do MNB

	JUL	AGO	SET
Consumo mensal (m ³)	12009,6	11976	14574,8
Média diária (m ³)	387,4	386,3	485,8
Total média diária dos três meses	419,8		

Como se descreveu anteriormente, a forma para calcular a purga da torre baseia-se na equação,

$$Q_A C_A = Q_P C_P$$

Em que,

Q_A – Caudal da água de reposição, m³/dia

Q_P – Caudal da água que sai na purga, m³/dia

C_A – Concentração de sais na água de reposição, mg/L

C_P – Concentração de sais da água que sai na purga, mg/L

$$Q_A = 419,8 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A concentração de sais é dada pela concentração de cloretos na água.

Concentração de cloretos da água de reposição = 70 ppm Cl

Concentração de cloretos da água da purga = 277,22 ppm Cl

Logo o valor de Q_p (caudal da água da purga) é dado por:

$$419,8 \times 70 = Q_p \times 277,22 \Leftrightarrow Q_p = 106 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A água contida no tanque das torres tem a mesma composição da água que sai nas purgas, que constitui o efluente dos refrigerantes.

Os resultados das análises da água que está contida no tanque foram cedidos pela empresa exterior que monitoriza as torres de refrigeração na CUF-QI. Tal como nas torres do sector PCA, estes resultados não são actuais uma vez que só foram disponibilizados dados do final do ano de 2009.

Através dos dados da Tabela 6.31, que representa uma média dos resultados das análises de Setembro a Dezembro de 2009, pode-se concluir que no controlo analítico são utilizados compostos como Zinco, Ortofosfatos, Polímeros. Alguns dos restantes parâmetros, tais como Ferro e Cloretos, são derivados da deposição de alguns sais ou até mesmo das tubagens, como é o caso do Fe.

Tabela 6-31 - Resultados da análise ao efluente das Torres de Refrigeração do sector PAD

	pH	Condutividade uS/Cm	Alcalinidade ppm CaCO ₃	Cloretos ppm Cl	Ca ²⁺ ppm CaCO ₃	Fe ppm Fe	o-PO ₄ ppm PO ₄	Zn ppm FFZ	Polímeros PLU	Cl ₂ ppm Cl ₂
HNO ₃	8,03	870,71	127	115,71	103	0,61	10,05	1,22	115,1	0,42
MNB	8,39	2115,61	189,76	277,22	201,06	1,03	12,14	1,72	172,46	0,45
ANL	8,3	1412,56	162,76	230,29	164,65	1,01	12,48	4,99	151,36	0,54

➤ Fábrica da Anilina

Na Fábrica da Anilina existe efluente bastante variável tanto em quantidade como em qualidade, não existindo uma caracterização exaustiva. No SIAP está disponível o volume diário deste efluente e também os resultados da análise à sua composição. Este efluente resulta de purgas e derrames ocasionados devidos a falhas de equipamentos. Ao longo dos três meses foi gerado uma média diária de 145,9 m³ de efluente, tal como se pode observar na Tabela 6.32.

Tabela 6-32 – Volume de efluente gerado no Piso da Anilina

	JUL	AGO	SET
Volume total de efluente (m ³)	4162,2	4016,0	5216,1
Média diária de efluente (m ³)	134,3	129,5	173,9
Média diária de efluente ao longo dos três meses	145,9		

No sistema SIAP também estão disponíveis dados relativos à composição do efluente. No entanto, como foi dito anteriormente, este efluente sofre grandes variações não só em termos de quantidade como também em termos de qualidade, tal como se pode observar na tabela. Como se pode observar na Tabela 6.33, os parâmetros analisados apresentam grande variação de concentração ao longo dos três meses.

Tabela 6-33 – Resultados da análise ao efluente do Piso da Anilina

	JUL	AGO	SET
Anilina (ppm)	1426	2903	641
MNB (ppm)	119	73	85
CHOL (ppm)	250	108	45
Benzeno (ppm)	111	13	8
CHA (ppm)	371	49	12
Orgânicos (ppm)	2277	3146	792

➤ Fábrica de Ácido Sulfanílico

Na Instalação do Ácido Sulfanílico existe um efluente descontínuo, que tal como no caso do Piso da Anilina, é bastante variável em caudal e composição. Este efluente resulta de purgas e derrames ocasionais de equipamentos e purgas a vapor, sendo depois homogeneizado e neutralizado.

No sistema SIAP existe a informação relativa à sua quantidade e qualidade. A Tabela 6.34 mostra o volume médio diário de efluente gerado entre o mês de Julho e Setembro, que foi de 12 m³/dia.

Tabela 6-34 - Volume de efluente gerado no Piso do Ácido Sulfanílico

	JUL	AGO	SET
Volume total de efluente (m ³)	378,7	380,0	343,7
Média diária de efluente (m ³)	12,2	12,3	11,5
Média diária de efluente ao longo dos três meses (m ³)	12		

A Tabela 6.35 apresenta os resultados da análise ao efluente do piso do Ácido Sulfanílico. Neste caso são analisados apenas a Anilina e o Ácido Sulfanílico e as concentrações também são variáveis, uma vez que se trata de um efluente descontínuo, resultante de operações que podem ou não ocorrer diariamente o que faz com que a qualidade do efluente varie também.

Tabela 6-35 - Resultados da análise ao efluente do Piso do Ácido Sulfanílico.

	JUL	AGO	SET
Anilina (ppm)	4833	4610	2838
Ácido Sulfanílico (ppm)	12114	16620	12927

➤ **Fábrica de MNB**

Na instalação da Fábrica de MNB existe um efluente contínuo designado de “efluente pobre MNB”, que resulta da reacção entre o Benzeno e o Ácido Nítrico. A corrente deste efluente antes de ser enviada para tratamento nos leitos de desnitrificação é neutralizada. Também estão disponíveis no SIAP os dados relativos ao seu caudal e composição. Na Tabela 6.36 estão os valores obtidos através do SIAP e pode-se concluir que a média diária dos meses Agosto e Setembro foi de 252,9 m³.

Tabela 6-36 - Volume de efluente gerado na Fábrica de MNB

	AGO	SET
Volume total de efluente (m ³)	8932,8	8200,2
Média diária de efluente (m ³)	288,2	273,3
Média diária de efluente ao longo dos dois meses (m ³)	280,7	

Relativamente à qualidade deste efluente, os registos do SIAP dizem respeito à análise de Benzeno, MNB, Cl⁻, NO₃, SO₄ e Oxalato. Na Tabela 6.37 estão apresentados os valores correspondentes à concentração destes compostos no efluente ao longo do mês de Agosto e Setembro. Este efluente é contínuo e portanto as concentrações dos parâmetros analisados não demonstram grandes variações.

Tabela 6-37 - Resultados da análise ao efluente da Fábrica de MNB

	AGO	SET
Benzeno (ppm)	-	3
MNB (ppm)	2	2
Cl ⁻ (ppm)	5	4
NO ₃ (ppm)	1816	1612
SO ₄ (ppm)	118	240
Oxalato (ppm)	303	283

➤ Geradores de Vapor

Todos os geradores de vapor são alimentados com água desgasada (com redução do teor em oxigénio livre), proveniente de um desgasificador.

O funcionamento dos geradores de vapor depende dos consumos de vapor que se verificarem nas várias unidades fabris consumidoras de vapor, assim como do funcionamento ou paragem da fábrica de Ácido Nítrico.

Se a fábrica de Ácido Nítrico se encontrar em laboração, serão mantidas normalmente em funcionamento a caldeira da ECE em modo automático, num regime próximo da produção máxima e em modo manual, 2 caldeiras da instalação de produção de vapor localizada na área do Ácido Nítrico, nomeadamente a caldeira Babcock 1 e a caldeira Termec (ambas dotadas de economizador) num regime de produção mínimo possível (CUF-QI, 2006 b).

Caso se verifique a paragem da Fábrica de Ácido Nítrico deverá funcionar prioritariamente a caldeira da ECE, arrancando somente qualquer uma das outras caldeiras disponíveis (com prioridade para as caldeiras equipadas com economizador) caso os consumos de vapor e a pressão da rede de distribuição assim o determinem (CUF-QI, 2006 b).

No SIAP encontram-se disponíveis os valores de consumo de água das quatro caldeiras, e através da empresa que faz a monitorização das caldeiras foi possível obter os dados da composição da água das caldeiras Termec e ECE, desde Janeiro até Maio de 2010. A composição desta água corresponde à composição da água que sai nas purgas. No entanto, não foi possível obter, para nenhuma das caldeiras, o volume de água residual.

Na Tabela 6.38 estão disponíveis os valores dos consumos de água na caldeira Babcock 1, que como se pode observar, consumiu em média ao longo dos meses de Julho, Agosto e Setembro, 68,7 m³/dia

Tabela 6-38- Consumo de água da caldeira Babcock 1

	JUL	AGO	SET
Consumo total de água (m ³)	2138,8	3060,6	1152,8
Consumo de água por dia (m ³)	69,0	98,7	38,4
Média diária de consumo de água ao longo dos três meses (m ³)		68,7	

Como se pode observar na Tabela 6.39, a caldeira Babcock 2 consumiu, em média ao longo dos três meses, 22,1 m³/dia.

Tabela 6-39- Consumo de água da caldeira Babcock 2

	JUL	AGO	SET
Consumo total de água (m ³)	592,6	1067,3	381,3
Consumo de água por dia (m ³)	19,1	34,4	12,7
Média diária de consumo de água ao longo dos três meses (m ³)	22,1		

A Tabela 6.40 diz respeito à caldeira Termec, que consumiu, em média ao longo dos meses de Julho, Agosto e Setembro, 279,4 m³ por dia.

Tabela 6-40 - Consumo de água da caldeira Termec

	JUL	AGO	SET
Consumo total de água (m ³)	7283,6	10732,2	7707,5
Consumo de água por dia (m ³)	235,0	346,2	256,9
Média diária de consumo de água ao longo dos três meses (m ³)	279,4		

Na Tabela 6.41 pode-se observar os resultados da análise à água residual da caldeira Termec. O valor dos parâmetros corresponde a uma média entre o mês de Janeiro a Maio de 2010.

A qualidade da água das caldeiras deve ser controlada e devem ser implementados tratamentos, quando necessários, para compatibilizar as suas propriedades físico-químicas com os parâmetros da caldeira.

São analisados parâmetros como alcalinidade, dureza e sílica, uma vez que estes servem para o controlo da água das caldeiras. A Hidrazina é um sequestrador de oxigénio que é adicionado à água das caldeiras de forma a prevenir as corrosões.

Tabela 6-41 – Resultado da análise à água da caldeira Termec

Parâmetros	Valor médio
pH	10,10
Condutividade (μS)	1529
Dureza (ppm CaCO ₃)	146,00
Alcalinidade (ppm CaCO ₃)	177,17
Hidróxidos (ppm CaCO ₃)	114,83
SiO ₄ (ppm SiO ₄)	10,14
Hidrazina (ppb N ₂ H ₄)	162,89

Pode observar-se na Tabela 6.42 que a caldeira ECE teve um consumo médio diário, ao longo dos três meses, de 412,9 m³,

Na Tabela 6-43 estão apresentados os valores correspondentes à análise da água residual da caldeira da ECE.

Tal como no caso da caldeira Termec, também esta apresenta valores relativos à dureza e alcalinidade, uma vez que estes são parâmetros de controlo da água. A Hidrazina também é analisada neste caso, uma vez que também é adicionada para a prevenção de corrosões.

Tabela 6-42- Consumo de água da caldeira da ECE

	JUL	AGO	SET
Consumo total de água (m ³)	12907,5	12570,3	12509,1
Consumo de água por dia (m ³)	416,4	405,5	417,0
Média diária de consumo de água ao longo dos três meses (m ³)	412,9		

Tabela 6-43- Resultado da análise à água da caldeira ECE

Parâmetros	Valor médio
pH	10,30
Condutividade (μS)	912,50
Dureza (ppm CaCO ₃)	193,00
Alcalinidade (ppm CaCO ₃)	245,80
Hidróxidos (ppm CaCO ₃)	140,20
Hidrazina (ppb N ₂ H ₄)	162,00

7 PROPOSTAS DE MEDIDAS DE REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA

Após a apresentação e discussão dos resultados já é possível construir uma base de dados com valores qualitativos e quantitativos relativos à água de alimentação e efluentes. Esta base de dados serve para um possível projecto de reutilização de água, baseado na metodologia *Water Pinch*, que poderá ser implementado na CUF-QI. Além disto, também com os resultados obtidos, já é possível identificar algumas práticas que podem ser utilizadas para reutilizar a água na fábrica.

Na CUF-QI os efluentes do sector PCA são encaminhados para a ETAR numa única corrente. Esta situação faz com que seja permitido avaliar possibilidades de reutilização através de um sistema de circuito fechado, uma vez que são conhecidos o caudal final do efluente e a característica de qualidade do mesmo.

Por outro lado, a segregação de correntes permite avaliar as possibilidades de reutilização através de sistema em cascata, ou seja, um efluente que seja gerado num determinado processo industrial, e que apresente os índices de qualidade requeridos, pode ser utilizado como alimentação em um outro processo subsequente.

No entanto, seja em sistema de circuito fechado ou em cascata, os efluentes podem ser reutilizados através de diversas metodologias que conduzem à minimização da captação de água. Mas caso haja a hipótese de implementação de um projecto de reutilização de efluentes, através do sistema em cascata, como é por exemplo a metodologia *Water Pinch*, pode-se recorrer à base de dados criada com a elaboração deste trabalho.

Foi na perspectiva de ampliar as possibilidades de avaliação de projectos de reutilização de água na CUF-QI, para além das avaliações em circuito fechado, que o presente trabalho foi desenvolvido. Este estudo permitiu analisar o sistema de água e de água residual para que fosse possível a segregação das correntes, possibilitando assim a caracterização individualizada dos vários efluentes e das fontes utilizadas.

7.1 BASE DE DADOS DAS CORRENTES DE ÁGUA DO SECTOR PCA

Após a conclusão de todas as acções em campo, análises laboratoriais e discussão dos respectivos resultados foi construída a base de dados das correntes de água, com os resultados deste trabalho, apresentando assim os dados qualitativos e quantitativos relativos à água de alimentação e água residual dos processos que foram escolhidos para serem alvo de análise.

Esta base de dados poderá ser utilizada posteriormente na análise *Water Pinch*, como também é possível, através da observação dos seus resultados, identificar alguns processos cujos efluentes podem ser utilizados em outros processos subsequentes, sem ser necessário tratamento.

Nas Tabelas 7.1 e 7.2 pode observar-se os dados relativos à quantidade e qualidade da água de alimentação, assim como o tipo de fonte de água utilizada nos processos do sector PCA.

Tabela 7-1- Características quantitativas da água de alimentação dos processos do sector PCA

Processos	Utilizações	Tipo de fonte	Caudal fonte (m³/dia)	Caudal contínuo ou descontínuo
Utilidades	<i>Make-up</i> Torre de refrigeração 1	Água Bruta	49	Contínuo
	<i>Make-up</i> Torre de refrigeração 2	Água Bruta	22	Contínuo
	<i>Make-up</i> Torre de refrigeração 3	Água Bruta	128	Contínuo
	<i>Make-up</i> Torre de refrigeração 5	Água Bruta	174	Contínuo
Liquefacção do Cloro	Arrefecimento de equipamentos	Água bruta	47	Descontínuo
Desmineralização	Lavagem filtros de areia	Água bruta	45	Descontínuo
	Lavagem filtros de carvão	Água bruta	5	Descontínuo
	Regeneração das colunas	Água bruta	73	Descontínuo
		Água desmineralizada	40	
SHA	Lavagem de bidons	Água bruta	1	Descontínuo

Tabela 7-2- Características qualitativas da água de alimentação dos processos do sector PCA

Características água bruta:		Características água desmineralizada:	
Alcalinidade =	30 ppm CaCO ₃	pH =	7 – 8,5
Cloretos =	70 mg/L	Condutividade	< 5 µS/cm
Fe Total =	0,3 mg/L	SiO ₂	< 0,2 ppm
Mg =	4 mg/L		
Ca =	16 mg/L		
Condutividade =	350 µS/cm		
pH=	7		
SiO ₂ =	9 mg/L		

De seguida, nas Tabelas 7.3 e 7.4 apresentam-se as características quantitativas e qualitativas dos efluentes estudados no sector PCA. Os dados apresentados são uma média dos valores dos volumes e das análises obtidos.

Tabela 7-3- Características quantitativas e qualitativas dos efluentes dos processos do sector PCA

Fontes de Água Residual - PCA		Caudal de Água Residual (m³/dia)	Qualidade da Água Residual							
			pH	Condutividade (µS/Cm)	Cloro total (mg/L)	SST (mg/L)	Fe (mg/L)	NaOH (mg/L)	Conc. HCl (mg/L)	Cloretos (mg/L)
Efluente da Liquefacção do Cloro		47	7,5	344	0,38	30	-	-	-	-
Desmineralização- efluente da regeneração	A2S1	85	1,4	48275	-	9,6	-	-	826,2	-
	A2S2									
	NRC8o	29	8,4	46326	0,008	95,24	-	-	.	-
Efluente lavagem de filtros desmineralização	Multimédia	45	7,6	366	0,27	18,5	0,38	-	-	-
	Carvão	5	7,4	350	0,32	1	0,20			-
Efluente da lavagem de bidons		1	12	2600	0,11	1136	3,2	-	-	-
Efluente Processamento H ₂		9	12	1109	0,10	1	-	0,2	-	-
Absorção HCl		22	3,9	601	0,21	2,8	-	-	-	130
Purgas das Torres de Refrigeração	Refrigerante 1	18	Dados apresentados na Tabela 7.4							
	Refrigerante 2	8								
	Refrigerante 3	44								
	Refrigerante 5	81								

Tabela 7-4- Características qualitativas do efluente das torres de refrigeração do sector PCA

	pH	Condutividade μS/Cm	Alcalinidade ppm CaCO ₃	Cloretos ppm Cl	Ca ²⁺ ppm CaCO ₃	Fe ppm Fe	o-PO ₄ ppm PO ₄	Zn ppm FFZ	Polímeros PLU	Cl ₂ ppm Cl ₂
R1	7,79	1.039,00	119,67	186,56	116,76	1,02	12,93	0,94	119,10	0,45
R2	8,01	1122,18	158,9	183,64	173	1,06	12,91	0,61	106,32	0,5
R3	8	1330,36	166,86	203,55	147,14	1,37	11,7	0,28	105,86	0,45
R4	8,15	1122,41	173,57	213,64	112,62	0,91	12,1	0,7	91,71	0,48
R5	8,23	890,68	133,43	150,71	116,33	0,85	8,2	1,36	88,6	0,48

As águas residuais provenientes da lavagem dos filtros multimédia e dos filtros do carvão da Instalação de Desmineralização da Água e da Instalação de Liquefacção do Cloro poderão ter grande potencial para ser reutilizadas . Seguidamente serão descritas algumas medidas de reutilização que poderão ser aplicadas a estes efluentes.

7.1.1 REUTILIZAÇÃO DO EFLUENTE DA LAVAGEM DOS FILTROS MULTIMÉDIA

Os filtros multimédia pertencem à etapa de pré-filtração da Instalação de Desmineralização da Água e como foi dito são lavados de 12 em 12 horas de serviço e gastam 45 m³/dia de água nessa lavagem. O volume de efluente gerado corresponde ao volume de água gasta nessa lavagem.

Como foi comentado anteriormente este efluente apresenta características similares à da água bruta, exceptuando o valor de SST, pois apresenta uma média de 18 mg/ L.

Este efluente poderá possuir características aceitáveis para poder ser reutilizado como água de alimentação da Torre de Refrigeração 2. Segundo o Guidelines for Water Reuse da EPA (1992), os limites dos parâmetros presentes na água de reposição das torres de refrigeração são os descritos na Tabela 7.5 e pressupondo que estes dados da EPA se podem adequar à torre de refrigeração 2, é possível que a água residual proveniente da lavagem dos filtros multimédia possa ser usada no refrigerante referido.

Tabela 7-5- Limite recomendado para os parâmetros presentes na água de reposição das torres de refrigeração

Figura adaptada de EPA, 1992

Parâmetros	Limite recomendado
Cl (mg/L)	500
TDS (mg/L)	500
Dureza (mg/L)	650
Alcalinidade (mg/L)	350
pH	6,9 – 9,0
COD (mg/L)	75
SST (mg/L)	100
Turbidez (mg/L)	50
BOD (mg/L)	25
Orgânicos (mg/L)	1,0
NH ₄ -N (mg/L)	1,0
SiO ₂ (mg/L)	50
PO ₄ (mg/L)	4
Al (mg/L)	0,1
Fe (mg/L)	0,5
Mn (mg/L)	0,5
Ca (mg/L)	50
Mg (mg/L)	0,5
HCO ₃ (mg/L)	24
SO ₄ (mg/L)	200

Comparando as características do efluente da lavagem dos filtros multimídia, apresentadas na Tabela 7.3, e as características necessárias à água de reposição da torre de refrigeração 2 e visto que esta apenas necessita de 22 m³/dia, é possível utilizar o efluente gerando na lavagem dos filtros para água de alimentação da torre de refrigeração 2. Sugere-se que o efluente seja enviado para um reservatório para ser armazenado e daqui seja enviado para a alimentação da torre de refrigeração, sempre que necessário.

7.1.2 REUTILIZAÇÃO DO EFLUENTE DA LAVAGEM DOS FILTROS DE CARVÃO

A Instalação da Desmineralização da Água possui uma etapa de filtração constituída por três filtros de carvão, dois de igual dimensão, o F 17.06 e o 17.07, e um maior que estes, o F 17.08. A

lavagem dos filtros F 17.06 e F 17.07 é feita de 48 em 48 horas de serviço e a lavagem do F 17.08 é feita de 96 em 96 horas de serviço, e no conjunto gastam em média 5 m³/dia de água, sendo este também o volume de efluente gerado.

A qualidade deste efluente tem características semelhantes às da água bruta, como se pode observar através da comparação da Tabela 7.2 com a Tabela 7.3. Uma possível forma de reutilização deste efluente é que este seja canalizado e armazenado num reservatório e que seja utilizado na lavagem dos pisos das instalações.

7.1.3 REUTILIZAÇÃO DO EFLUENTE DA LIQUEFAÇÃO DO CLORO

Na Instalação da Liquefacção do Cloro foi analisado o efluente proveniente do arrefecimento dos permutadores de calor. Por dia são gerados aproximadamente 47 m³ de efluente, que tem características semelhantes à da água bruta, tal como se pode verificar comparando a Tabela 7.2 com a Tabela 7.3 que apresenta as características da água bruta. No entanto, o efluente da liquefacção do Cloro possui cerca de 30 mg/L de SST. Os SST são o único contaminante que pode ser considerado limitante neste processo.

Este efluente poderá possuir características aceitáveis para poder ser reutilizado como água de alimentação da Torre de Refrigeração 1. Segundo o Guidelines for Water Reuse da EPA (1992), os limites dos parâmetros presentes na água de reposição das torres de refrigeração são os descritos na Tabela 7.5 e pressupondo que estes dados da EPA se podem adequar à torre de refrigeração 1, é possível que a água residual proveniente da Instalação da Liquefacção do Cloro possa ser usada no refrigerante referido.

Comparando as características do efluente da Liquefacção do Cloro, apresentadas na Tabela 7.3, e as características necessárias à água de reposição da torre de refrigeração 1 é possível utilizar o efluente gerando na Liquefacção do Cloro para água de alimentação da torre de refrigeração 1. Sugere-se que o efluente seja enviado para um reservatório para ser armazenado e daqui seja enviado para a alimentação da torre de refrigeração, sempre que necessário. No entanto, a Liquefacção do Cloro gera 47 m³/dia de efluente e a torre de refrigeração 1 necessita de 49 m³/dia de água de alimentação, portanto no reservatório de armazenamento do efluente teriam de ser adicionados diariamente 2 m³ de água bruta.

7.2 BASE DE DADOS DAS CORRENTES DE ÁGUA DO SECTOR PAD

Ao contrário do sector PCA, os efluentes do sector PAD já se encontram segregados.

Os efluentes da Instalação da Fábrica de Anilina são encaminhados para um reservatório, onde posteriormente seguem para tratamento biológico. Os efluentes provenientes da Instalação da Fábrica de Ácido Sulfanílico são também encaminhados para um reservatório, sendo neutralizados e, dependendo das suas características, poderão ser enviados directamente para o efluente final, ou encaminhados para tratamento nos leitos de macrófitas.

O efluente que provém da Instalação da Fábrica de MNB é enviado, após neutralização, para uma bacia de equalização. Em seguida é encaminhado para tratamento biológico em leitos de macrófitas de desnitrificação.

O efluente que provém da Instalação da Fábrica de Ácido Nítrico é recolhido na “Fossa do Calcário”, onde ocorre a correcção do pH e posteriormente é enviado para a bacia de equalização, sendo em seguida encaminhado para tratamento biológico em leitos de macrófitas de desnitrificação.

Existe ainda um efluente resultante da regeneração das resinas de permuta iónica de desmineralização de água que é enviado para uma fossa onde é neutralizado e depois é enviado à ETAR.

Tal como no sector PCA, também no sector PAD foi feita uma base de dados com as utilizações e necessidades de água, onde foram descritos os requerimentos de qualidade e quantidade. Estes dados podem observar-se na Tabela 7.6.

O mesmo se efectuou para os efluentes gerados em cada operação, em que se apresentou nas Tabelas 7.8, 7.9 e 7.10 as características de quantidade e qualidade dos efluentes.

As características da água bruta são as apresentadas na Tabela 7.2 e as características da água desgasada na Tabela 7.7.

Tabela 7-6 - Características quantitativas da água de alimentação dos processos do sector PAD

Processos	Utilizações	Tipo de fonte	Caudal fonte (m³/dia)	Caudal contínuo ou descontínuo
Utilidades	<i>Make-up</i> Torre do Nítrico	Água Bruta	1678	Contínuo
	<i>Make-up</i> Torre de MNB	Água Bruta	420	Contínuo
	<i>Make-up</i> Torre de Anilina	Água Bruta Purga Nítrico	2105	Contínuo
Desmineralização	Regeneração das colunas	Água bruta	170	Descontínuo
Caldeiras	Babcock 1	Água desgasada	69	Descontínuo
	Babcock 2	Água desgasada	22	
	Termec	Água desgasada	279	
	ECE	Água desgasada	413	

Tabela 7-7 - Características da água desgasada

Características Água Desgasada	
pH =	8,3 – 10,5
TH ppm CaCO ₃	< 1
Condutividade (µS/cm)	< 2000
Fe total (ppm)	< 0,5

Tabela 7-8- Características quantitativas e qualitativas dos efluentes dos processos do sector PAD

Fontes de água Residual - PAD		Caudal de água residual (m³/dia)	Qualidade da água residual										
			Anilina (ppm)	Benzeno (ppm)	MNB (ppm)	Cl⁻ (ppm)	NO₃⁻ (ppm)	SO₄²⁻ (ppm)	Oxalato (ppm)	CHA (ppm)	CHOL (ppm)	Org. (ppm)	Ac. Sulfanílico (ppm)
Purga Caldeiras	Babcock 1	-	Dados apresentados na Tabela 7.9										
	Babcock 2	-											
	Termec	-											
	ECE	-											
Efluente da regeneração da desmineralização		170											
Efluente piso de Anilina		146	1657		92	-	-	-	-	144	134	2072	-
Efluente piso do Sulfanílico		12	4094	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13887
Efluente pobre MNB		281	-	3	2	4,5	1714	179	293	-	-	-	-
Purgas das torres de refrigeração	Nítrico	350	Dados apresentados na Tabela 7.10										
	MNB	106											
	Anilina	574											

Tabela 7-9- Características qualitativas do efluente das purgas do sector PAD

	pH	Condutividade μS/Cm	Alcalinidade ppm CaCO ₃	Dureza ppm CaCO ₃	Hidroxidos ppm CaCO ₃	SiO ₄ ppm SiO ₄	Hidrazina ppb N ₂ H ₄
Termec	10,10	1529	177,17	146	114,83	10,14	162,89
ECE	10,30	912,50	245,80	193, 00	140,20	-	162,00

Tabela 7-10- Características qualitativas do efluente das torres de refrigeração do sector PAD

	pH	Condutividade μS/Cm	Alcalinidade ppm CaCO ₃	Cloretos ppm Cl	Ca ²⁺ ppm CaCO ₃	Fe ppm Fe	o-PO ₄ ppm PO ₄	Zn ppm FFZ	Polímeros PLU	Cl ₂ ppm Cl ₂
HNO ₃	8,03	870,71	127	115,71	103	0,61	10,05	1,22	115,1	0,42
MNB	8,39	2115,61	189,76	277,22	201,06	1,03	12,14	1,72	172,46	0,45
ANL	8,3	1412,56	162,76	230,29	164,65	1,01	12,48	4,99	151,36	0,54

No sector PCA foi possível sugerir, em alguns processos, algumas medidas para utilizar os seus efluentes em outros processos subsequentes. Estas medidas previam a utilização do efluente directamente, sem qualquer tipo de tratamento intermediário.

No entanto, no sector PAD não é possível identificar processos onde seja possível a utilização directa dos seus efluentes em outros processos. Existem outras alternativas além da reutilização directa, como a reutilização por mistura de correntes, com tratamento intermediário e com diluição em água. No entanto, estas alternativas têm que ser aplicadas através de uma metodologia sistemática que as estude com profundidade e portanto não podem ser sugeridas medidas de reutilização viáveis, sem que seja feito esse estudo.

8 CONCLUSÕES

Perante o cenário de escassez de água que se vive actualmente, este trabalho aborda a importância de uma boa gestão do uso da água na Indústria através da aplicação de alternativas ao uso convencional da água, tais como as técnicas de reutilização.

Este trabalho definiu uma base de dados, constituída por parâmetros quantitativos e qualitativos das correntes de água de uma indústria, para posteriormente serem usados num projecto de reutilização de água através da metodologia *Water Pinch*. Esta base de dados foi obtida através de uma análise documental e de um levantamento de dados em campo que permitiram identificar todos os pontos de relevante consumo de água e geração de efluentes, validar o estado de actualização dos dados disponíveis e identificar procedimentos e rotinas dos dois sectores produtivos, PCA e PAD, da CUF-QI.

A escolha de quais as correntes de água de alimentação e de água residual que tinham interesse no âmbito deste trabalho foi feita através destes critérios:

- Disponibilidade em obter os dados qualitativos e quantitativos das águas de alimentação e efluentes;
- Considerar os processos que consomem valores excessivos de água e geram igualmente grandes volumes de água;
- Considerar os processos que geram efluente e que seja composto por concentrações reduzidas de poluentes.

Depois de aplicados estes critérios, as áreas no sector PCA, que foram definidas como áreas que contêm processos com potencial de reutilização foram a desmineralização da água, torres de refrigeração, Instalação de Liquefacção do Cloro, Instalação de Absorção de HCl, Electrólises- Instalação de processamento de H₂ e Lavagem de recipientes de Cloro. E as áreas do sector PAD foram: Desmineralização da água – Regeneração das colunas de permuta iónica, torres de refrigeração, efluente da Fábrica de Anilina, efluente da Fábrica de Ácido Sulfanílico, efluente da Fábrica de MNB e Caldeiras.

Verificou-se alguma dificuldade em analisar os dados quantitativos e quantitativos das correntes de água presentes nestes processos, porque em alguns casos, como por exemplo, o Processamento de Hidrogénio, Instalação de Absorção de HCl, e as purgas das torres de refrigeração não existiam contadores que pudessem quantificar o volume de água gasto ou efluente gerado. Ou então, por exemplo, o caso da água que sai nas purgas das torres de refrigeração em que não havia dados actualizados sobre a sua composição, nem um histórico recente desses dados.

Perante estas dificuldades, chegou-se à conclusão que é importante a existência de uma rede de distribuição de água organizada, através da implementação de contadores em locais estratégicos, da actualização constante das plantas de redes de distribuição e a implementação de um sistema de leituras em tempo real, pois permite uma recolha de informação mais concisa.

No sector PCA, com a escolha dos processos que apresentam potencial para reutilização foi possível, com este trabalho, estudar correntes de água e de água residual possibilitando assim a caracterização individualizada dos vários efluentes e fontes de alimentação.

O estudo segregado das correntes de água é especialmente importante para implementação da tecnologia *Water Pinch*.

A aplicação da tecnologia *Water Pinch* requer conhecer os requisitos de qualidade e quantidade de cada processo, uma vez que um efluente gerado num processo industrial e que apresente os índices de qualidade requeridos, pode ser utilizado como alimentação noutro processo subsequente.

Depois de recolhidas as informações qualitativas e quantitativas das correntes de água, foi possível, além de construir a base de dados necessária ao futuro projecto de reutilização, sugerir algumas medidas de reutilização de efluentes, que de acordo com os resultados obtidos, poderão ser aplicadas no sector PCA.

Algumas dessas medidas estão seguidamente descritas:

- Utilizar o efluente gerado na lavagem dos filtros para água de alimentação da torre de refrigeração 2. Sugere-se que o efluente seja enviado para um reservatório para ser armazenado e daqui seja enviado para a alimentação da torre de refrigeração, sempre que necessário.
- O efluente da lavagem dos filtros de carvão pode ser canalizado e armazenado num reservatório e ser utilizado na lavagem dos pisos das instalações.
- O efluente da Instalação da Liquefacção do Cloro pode ser utilizado como água de alimentação da torre de refrigeração 1. Sugere-se que o efluente seja conduzido para um reservatório para ser armazenado, onde será adicionado diariamente 2 m³ de água bruta, e depois seja enviado para a alimentação da torre de refrigeração, sempre que necessário.

No sector PAD não foi possível identificar processos onde seja possível a utilização directa dos seus efluentes em outros processos, o que não inviabiliza a possibilidade de reutilização.

Existem outras alternativas além da reutilização directa, como a reutilização por mistura de correntes, com tratamento intermediário e com diluição em água. Porém, estas alternativas têm de ser profundamente estudadas e aplicadas através de uma metodologia sistemática. Então, sem ser feito um estudo conciso dessas alternativas, não podem ser sugeridas medidas de reutilização para o sector PAD.

Com estas medidas de reutilização será possível utilizar cerca de 74 m³/dia de efluente sem necessitar de qualquer tratamento, o que conduz necessariamente à poupança de 74 m³/dia de água bruta. Para uma empresa de grande dimensão como a CUF-QI, este valor pode não ser muito significativo, no entanto trata-se apenas de um volume de água que pode ser poupado através de medidas de reutilização directa. Futuramente, com a base de dados construída neste trabalho, em que as suas informações serão aplicadas num projecto de reutilização através da metodologia *Water Pinch*, a poupança de água bruta será mais elevada.

Considera-se que a aposta na reutilização de efluentes permitirá minimizar os custos de produção (reduzindo os consumos de água fresca e custos de tratamento de efluentes) sem nunca comprometer a qualidade do produto final. Para além dos benefícios económicos que advêm com este género de estudos, a beneficiação ambiental que advém da redução de consumos de água e geração de efluentes para o meio receptor natural, confere uma imagem pública, da empresa, mais limpa e mais amiga do ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUACICLO - TECNOLOGIAS DO AMBIENTE - Geradores de Vapor. Palmela, 2001. Disponível em <http://www.aguaciclo.pt>. Consultado em Outubro de 2010
- APRH (Associação Portuguesa de Recursos Hídricos)- Águas Subterrâneas. Lisboa, 2005.
- APA (Agência Portuguesa do Ambiente). Licença Ambiental. Lisboa : APA, 2008. 52/2008.
- ASANO, T. Multiple Uses of Water: Reclamation and Reuse. Water and Efficiency, 11, pp. 277-280, 2002.
- ASSEMBLEIA DA RÉPUBLICA- Lei n.º 58/2005. Diário da República, 2005.
- BAPTISTA, J. [et al.]- Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água. Lisboa, 2001.
- BIXIO, D. [et al.] - Wastewater reuse in Europe. In: ELSEVIER - Desalination. 2006. p. 89-101.
- CARR, R. - The feasible reuse of water. 2001. Disponível em <http://www.developotechnology.co.za>. Consultado em Setembro de 2010.
- COMISSÃO NACIONAL DA UNESCO – Água : Recurso único, prioridade absoluta. Disponível em http://www.unesco.pt/cgi-bin/ciencia/temas/cie_tema.php?t=19. Consultado em Maio de 2010
- CORREIA, P. B. - Processos de Indústria Química. Universidade Nova de Lisboa, 2001.
- CORTINOVIS, G. F. ; SONG, T. W. - Funcionamento de uma Torre de Resfriamento de Água: Revista de Graduação da Engenharia Química. São Paulo, 2006.
- COSTA, D.; JÚNIOR, A. - Avaliação da necessidade do reuso de águas residuais: Holos. 2005. Disponível em www2.ifrn.edu.br. Consultado em Setembro de 2010.
- CUF-QI (CUF- Químicos Industriais) - CUF- QI- Apresentação. Estarreja, 2006. Disponível em www.cuf-qi.com. Consultado em Maio de 2010.
- CUF-QI (CUF-Químicos Industriais) - Manual Operatório da Produção de Vapor. 2006 b.
- CUF-QI (CUF-Químicos Industriais) - Manual de Acolhimento. 2007.

- CUF-QI (CUF-Químicos Industriais) - Manual Operatório - Hipoclorito de Sódio. 2008 a.
- CUF-QI (CUF-Químicos Industriais) - Manual Operatório da Desmineralização PCA. 2008 b.
- CUF-QI (CUF-Químicos Industriais) - Manual Operatório da Desmineralização do Sector PAD. 2009.
- DE AZEVEDO, S. F.- Indústria Química- Identidade, relevância e futuro: Ingenium. Lisboa: Ingenium Edições, Lda., 2005.
- DE OLIVEIRA, A. M. C. - Optimização do Uso de Água na Indústria- O Caso de Estudo da Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, S.A. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- DHOLE, V. R [et al.]- Make your process water pay for itself: Chemical Engineering. ABI/INFORM Global, 1996.
- DO MONTE, H.; ALBUQUERQUE, A. - Reutilização de Águas Residuais. Lisboa, 2010.
- ECOTEC RESEARCH AND CONSULTING LTD; BACS (British Association of Chemical Specialities); SOCSA (Specialised Organic Chemical Sector Association) - Water Use in the Manufacture of Speciality Chemicals. 1997.
- ENKROTT QUÍMICA S.A. - CWT Relatório analítico 2010 CUF-Norte. Sintra: 2010.
- ENKROTT QUÍMICA S.A. - CWT Relatório analítico 2010 CUF-Sul. Sintra: 2010.
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY)- Guidelines for Water Reuse. United States, 2002.
- FELIZATTO, M. R.- Projeto integrado de tratamento avançado e reuso direto de águas residuárias: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2001.
- HESPANHOL, I. [et al.] - Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria. Rio de Janeiro: Firjan, 2007.
- IDAD (Instituto de Ambiente e Desenvolvimento) - Projecto de Ampliação da CUF-QI. Estudo de Impacte Ambiental: Relatório de Síntese. 2007a.
- IDAD (Instituto de Ambiente e Desenvolvimento) - Projecto de Ampliação da CUF-QI. Estudo de Impacte Ambiental: ANEXOS. 2007b

-
- INAG (Instituto da água) - Plano Nacional da Água. Lisboa, 2001.
 - STRAUSS, K – Application of pinch technology in water resource management to reduce water use and wastewater generation for an area: Report to the Water Research Commission. 2006.
 - LINNHOFF MARCH INTERNATIONAL- Practical techniques and methods to develop an efficient water management strategy: Water Recycling and Effluent Re-Use. 1999.
 - MANN, J.G.; LIU, Y. A.. Introduction to Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization. In: MANN, James G.; LIU, Y. A..Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization. United States of America: McGraw-Hill, 1999. Cap. 1, p. 13-28
 - MANCUSO, P.- Reúso de água para torres de resfriamento. São Paulo, 2001.
 - MARECOS DO MONTE, M.H.- Reutilização de águas residuais: benefícios, constrangimentos e soluções tecnológicas: Seminário sobre Aplicação em Portugal e na União Europeia das Directivas Incidentes no Ciclo Urbano da Água. Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2005.
 - MELO, A. R. - Uso Integrado e Eficiente da Água nas Indústrias Têxteis Catarinenses. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
 - METCALF & EDDY, INC. - Wastewater Engineering - Treatment and Reuse. 4th Edition. New York, 2003.
 - MIDÕES, C.; FERNANDES, J. - Água subterrânea: conhecer para proteger e preservar. IGM, 2001.
 - MINISTÉRIO DO AMBIENTE- Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto. Diário da República, 1998.
 - MINISTÉRIO DO AMBIENTE, DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL - Decreto-Lei n.º 194/2009 de 20 de Agosto. Diário da República, 2009.
 - NATURAL RESOURCES CANADA - Pinch Analysis: For the efficient use of energy, water and hydrogen. 2003. ISBN 0-662-34964-4.
 - PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO- DIRECTIVA 2000/60/CE, de 23 de Outubro de 2000. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 2000.

- PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento) - Relatório do Desenvolvimento Humano 2006 - A água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água. Nova York: Communications Development Incorporated, 2006.
- PROMINENT - Soluções completas para o tratamento da água de refrigeração. Lisboa, 2006.
- RASTEIROA, M. [et al.]- Reutilização de Águas Processuais na Preparação de Esmaltes Cerâmicos: Cerâmica Industrial. 2005.
- QUEIROZ, E. M.; PESSOA, F. L. P. - Integração de Processos: Uma Ferramenta para Minimizar o Consumo Energético e o Impacto Ambiental. In: Fronteiras da Engenharia Química 1. Rio de Janeiro: 2005. p. 213-253.
- QUIMIGAL - Manual Operatório da Fábrica de Ácido Nítrico. 2008 c.
- QUIMIGAL Manual Operatório da Fábrica de Nitrobenzeno. 2006 a.
- QUIMIGAL - Manual operatório da Fábrica da Anilina. 2006 b .
- QUIMIGAL - Manual operatório da Fábrica de Ácido Sulfanílico. 2008.
- SAUTCHÚK, C. [et al.] - Conservação e Reúso da Água. Cirra- Centro Internacional de Referência em Reúso de Água, 2005.
- SILVA, A. M. [et al.]- Uso Eficiente de Água para Fins Industriais: 6º Congresso da Água. Porto, 2002.
- SILVA, I. A. - Integração de Processos para Gestão Eficiente da Água, utilizando Análise Pinch- Relatório de Diagnóstico. Estarreja: CUF- Químicos Industriais, 2009.
- SOUSA, E. - Saneamento Ambiental I - Captações de água. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2001.
- UN (United Nations) - Water Scarcity. 2010.Consultado em Maio de 2010.Disponível em www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.html.
- UNESCO (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization) - Water and Industry. Disponível em www.unesco.org/water/wwap/facts_figures/water_industry.shtml. Consultado em Maio de 2010.
- UNITECA, S.A (União Industrial Têxtil e Química) - Manual Operatório da Electrólise. 2001a.

-
- UNITECA, S.A (União Industrial Têxtil e Química) - Tratamento Secundário da Salmoura. Colunas de Permuta Iônica: 2001b.
 - UNITECA, S.A (UNIÃO INDUSTRIAL TÊXTIL E QUÍMICA) - Instrução de Trabalho- Instalação de Concentração de Soda Cáustica. 2001 c.
 - YOO, C. [et al.]- Integrated water resource management through water reuse network design for clean production technology: State of the art: The Korean Journal of Chemical Engineering. 2007.

ANEXOS

Anexo I- Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto

O presente diploma estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.

O diploma define os requisitos a observar na utilização das águas para os seguintes fins:

- a) Águas para consumo humano;
- b) Águas para suporte da vida aquícola;
- c) Águas balneares;
- d) Águas de rega.